

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“MÉTODO DE CURADO INTERNO DE ELEMENTOS DE
CONCRETO USANDO AGREGADOS EN SU CONDICIÓN DE
SATURADOS CON HUMEDAD SUPERFICIAL PARA ALCANZAR
SU RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE DISEÑO - CAJAMARCA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
JUAN CARLOS SANTA CRUZ CÁCERES**

**ASESORA:
M. Cs. Ing. YVONNE KATHERINE FERNÁNDEZ LEÓN**

**CAJAMARCA – PERÚ
2019**



COPYRIGHT © 2019 por Juan Carlos Santa Cruz Cáceres

Todos los derechos reservados



AGRADECIMIENTO

Agradezco al único Dios verdadero, al Dios creador de todo lo que existe, al Dios de la Biblia. Al que le debo la vida y al que me permitió tener personas, condiciones y recursos que han hecho posible que logre esta meta en mi vida.

Agradezco infinitamente a mis padres: Juan y Yolanda, por su incansable esfuerzo y desprendimiento para darnos, a mí y a mis hermanos, la mejor herencia que es posible recibir en esta vida: la instrucción en el único camino de verdad y sabiduría y la educación que nos permite abrir los ojos al mundo de las oportunidades.

Agradezco a todos mis hermanos: Betty, Nancy, Kelly, Josué y Alonso por el ambiente hogareño de confianza, de seguridad, de alegría, de tranquilidad, en el que crecí y me desarrollé hasta ahora. También a mis abuelos, tíos, primos que durante mi vida y mi carrera me han apoyado con sus ánimos, consejos y aportes

Agradezco a mis amigos y compañeros de la Universidad: Hernán, Nils, Fernando, Sebastián, Miguel, Rodrigo, Hugo, compartir la vida universitaria con ellos ha sido muy enriquecedor para mí.

Agradezco a mis asesores, el M. en I. Ing. Héctor Pérez Loayza, por su orientación y apoyo en cada momento del desarrollo de este trabajo de Investigación. Asimismo, a la M.Cs. Ing. Yvonne Katherine Fernández León por su asesoramiento en las etapas de Sustentación.

A la Universidad y a mis docentes por la formación brindada.



Dedico este trabajo con mucho cariño a mis padres Juan y Yolanda.



CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA	iv
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Planteamiento del Problema.....	4
1.2. Formulación del Problema	5
1.3. Justificación.....	5
1.4. Alcances o Delimitación de la investigación	5
1.5. Limitaciones	6
1.6. Objetivos	6
1.6.1. Objetivo General.....	6
1.6.2. Objetivos Específicos	6
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes	8
2.2. Bases teóricas	11
2.2.1. Generalidades del concreto.....	11
2.2.2. Cemento.....	12
2.2.3. Componentes y Proceso De Hidratación del Cemento Portland.	15
2.2.4. Curado del Concreto.....	21
2.2.5. Curado Interno del Concreto	22
2.2.6. Principios del Curado Interno.....	24
2.2.7. Métodos para incorporar agua en el Concreto.....	25
2.2.8. Efectos del Curado Interno en la Resistencia a Compresión.....	28
2.2.9. Porosidad de los agregados.	28



2.2.10. Grado de absorción de los Agregados.	29
2.2.11. Saturación de los agregados.	29
2.2.12. Agua de Mezclado	30
2.2.13. Aire	33
2.3. Definición de Términos.....	34
2.3.1. Curado del Concreto.....	34
2.3.2. Saturación del Agregado	34
2.3.3. Resistencia a la compresión del concreto	35
2.4. Hipótesis de Investigación.....	35
2.5. Variables de la Investigación	35
2.5.1. Variables independientes:.....	35
2.5.2. Variable dependiente	35
CAPÍTULO 3: MÉTODOS Y MATERIALES.....	36
3.1. Método de investigación	36
3.1.1. Tipo de Investigación.	36
3.1.2. Nivel de Investigación.....	36
3.1.3. Diseño de Investigación	36
3.1.4. Muestra y Unidad de Análisis	36
3.2. Materiales de la Investigación.....	38
3.2.1. Agregados o áridos.	38
3.2.2. Procedencia de los agregados (cantera).....	38
3.3. Procedimiento de la investigación.....	40
3.3.1. Acopio de materiales y muestras	40
3.3.2. Ensayos y pesos de agregados	40
3.3.3. Diseño de la mezcla para concreto patrón	41
3.3.4. Ajuste de las proporciones de la mezcla patrón	41



3.3.5. Saturación de los agregados para mezcla diseño.....	41
3.3.6. Diseño de la mezcla para concreto con agregados saturados	41
3.3.7. Ajuste de las proporciones de la mezcla diseño	42
3.3.8. Procedimiento de elaboración de especímenes con la mezcla patrón	42
3.3.9. Procedimiento de elaboración de especímenes con agregados saturados	43
3.4. Tratamiento y análisis de datos	44
3.4.1. Programas de cómputo	44
3.4.2. Fichaje de Información.....	45
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	46
4.1. Análisis de Resultados.....	46
4.1.1. Datos obtenidos en los ensayos - Mezcla Patrón.....	46
4.1.2. Resultados de los ensayos realizados a los especímenes elaborado con la mezcla patrón	54
4.1.2.1. Especímenes ensayados a los 7 días.....	54
4.1.2.2. Especímenes ensayados a los 14 días	57
4.1.2.3. Especímenes ensayados a los 28 días	60
4.1.3. Resultados de los ensayos realizados a los especímenes elaborados con mezcla de diseño usando agregados en su condición de saturados con humedad superficial.....	63
4.1.3.1. Especímenes ensayados a los 7 días	63
4.1.3.2. Especímenes ensayados a los 14 días	66
4.1.3.3. Especímenes ensayados a los 28 días	69
4.2. Discusión de Resultados.....	72
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1. Conclusiones	76
5.2. Recomendaciones.....	77
REFERENCIAS.....	78
ANEXOS (Panel Procedimental y Fotográfico)	83



ANEXO A: Acopio y preparación de materiales	83
ANEXO B: Lista de recursos, utensilios, equipos y herramientas utilizados en el Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNC.....	87
ANEXO C: Ensayo de materiales	89
ANEXO D: Diseño de mezcla del concreto patrón.....	103
ANEXO E: Saturación de los agregados para mezcla de diseño	114
ANEXO F: Diseño de mezcla para concreto usando agregados saturados.....	119
ANEXO G: Elaboración de mezcla patrón	130
ANEXO H: Prueba de revenimiento para la mezcla patrón	134
ANEXO I: Elaboración de especímenes con la mezcla patrón.....	135
ANEXO J: Ensayo de resistencia a compresión del concreto en la máquina universal de compresión axial.....	140
ANEXO K: Elaboración de mezcla con agregados saturados	146
ANEXO L: Prueba de revenimiento de la mezcla usando agregados saturados.....	151
ANEXO M: Elaboración de los especímenes con la mezcla usando agregados saturados	153
ANEXO N: Ensayo de resistencia a compresión del concreto con agregados saturados en la máquina universal de compresión axial.....	159



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Compuestos del cemento Portland (Compuestos Bogue/componentes potenciales)	13
Tabla N° 2 Composición química del cemento (centesimal)	14
Tabla N° 3 Composición típica (potencial) de los cementos Portland.....	14
Tabla N° 4 Principales componentes del cemento Portland.....	16
Tabla N° 5 Límites de componentes según tipos de cemento Portland.	17
Tabla N° 6 Composición de Óxidos y Componentes del Cemento Portland.....	17
Tabla N° 7 Valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua a utilizarse en la preparación del concreto.	32
Tabla N° 8 Tiempo de segmentación de los poros capilares según relación A/C.....	33
Tabla N° 9 Especímenes elaborados con agregados saturados y con mezcla patrón	37
Tabla N° 10 Registro y control de rompimiento de especímenes de concreto elaborados con mezcla patrón	46
Tabla N° 11 Registro y control de rompimiento de especímenes de concreto elaborados con agregados en su condición de saturados con humedad superficial	49
Tabla N° 12 Resumen de la Prueba de Resistencia a compresión por edades de la mezcla patrón	52
Tabla N° 13 Resumen de la prueba de resistencia a compresión por edades de la mezcla de diseño usando agregados en su condición de saturados con humedad superficial	52
Tabla N° 14 Resistencia a compresión de la mezcla patrón y mezcla de diseño según las tres condiciones de curado.....	53
Tabla N° 15 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes sin curado probados a los 7 días - Mezcla patrón	54
Tabla N° 16 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión probados a los 7 días - Mezcla Patrón	55



Tabla N° 17 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 7 días - Mezcla Patrón	56
Tabla N° 18 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 14 días - Mezcla Patrón	57
Tabla N° 19 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probados a los 14 días - Mezcla Patrón	58
Tabla N° 20 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 14 días - Mezcla Patrón	59
Tabla N° 21 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 28 días - Mezcla Patrón	60
Tabla N° 22 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probados a los 28 días - Mezcla Patrón	61
Tabla N° 23 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 28 días - Mezcla Patrón	62
Tabla N° 24 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 7 días - Mezcla Diseño	63
Tabla N° 25 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probados a los 7 días - Mezcla Diseño	64
Tabla N° 26 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 7 días - Mezcla Diseño	65
Tabla N° 27 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 14 días - Mezcla Diseño	66
Tabla N° 28 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probados a los 14 días - Mezcla Diseño	67
Tabla N° 29 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 14 días - Mezcla Diseño	68
Tabla N° 30 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 28 días - Mezcla Diseño	69



Tabla N° 31 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probados a los 28 días - Mezcla Diseño	70
Tabla N° 32 Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 28 días - Mezcla Diseño	71



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonas de influencia geográfica de las empresas cementeras en el Perú.....	15
Figura 2. Representación esquemática de la formación e hidratación del cemento Portland	19
Figura 3. Representación de los poros en la pasta de cemento (hidratado).	21
Figura 4. Efecto del tiempo de curado en la resistencia a la compresión del hormigón. 22	
Figura 5. Esquema que grafica el concepto de Curado Interno	27
Figura 6. Fotografía aérea del emplazamiento de la Cantera la Victoria.....	39
Figura 7. Resistencia de los especímenes sin curado, probados a los 7 días - Mezcla Patrón	54
Figura 8. Resistencia de los especímenes curados por aspersion, probados a los 7 días - Mezcla Patrón	55
Figura 9. Resistencia de los especímenes curados por inmersión, probados a los 7 días - Mezcla Patrón	56
Figura 10. Resistencia a la compresión de los especímenes sin curado, probados a los 14 días - Mezcla Patrón	57
Figura 11. Resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersion, probados a los 14 días - Mezcla Patrón.....	58
Figura 12. Resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 14 días - Mezcla Patrón.....	59
Figura 13. Resistencia a la compresión de los especímenes sin curado, probados a los 28 días - Mezcla Patrón	60
Figura 14. Resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersion, probados a los 28 días - Mezcla Patrón.....	61
Figura 15. Resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 28 días - Mezcla Patrón.....	62
Figura 16. Resistencia a la compresión de los especímenes sin curado, probados a los 7 días - Mezcla de Diseño.....	63



Figura 17. Resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probados a los 7 días - Mezcla de Diseño	64
Figura 18. Resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 7 días - Mezcla de Diseño	65
Figura 19. Resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 14 días - Mezcla de Diseño.....	66
Figura 20. Resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probados a los 14 días - Mezcla de Diseño	67
Figura 21. Resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 14 días - Mezcla de Diseño	68
.Figura 22. Resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 28 días - Mezcla de Diseño.....	69
Figura 23. Resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probados a los 28 días - Mezcla de Diseño	70
Figura 24. Resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 28 días - Mezcla de Diseño	71
Figura 25. Resistencia a compresión de especímenes sin curado	73
Figura 26. Resistencia a compresión de especímenes curados por aspersión.....	74
Figura 27. Resistencia a compresión de especímenes curados por inmersión	75



RESUMEN

En esta investigación se planteó como objetivo determinar el incremento de la resistencia a compresión de elementos de concreto elaborados usando agregados en su condición de saturados con humedad superficial, con respecto a la resistencia a compresión de elementos de concreto elaborados con la mezcla patrón. Esto se hizo bajo tres condiciones de curado (sin curado, curado por aspersión y curado por inmersión). En la hipótesis se afirmó que la resistencia a compresión de los elementos de concreto elaborados con agregados en su condición de saturados con humedad superficial se incrementará con respecto a la resistencia a compresión de los elementos de concreto elaborados con mezcla patrón. Para comprobar esta hipótesis, se desarrolló el método experimental en el laboratorio. Primero se determinó que para lograr una saturación de agregados al 100% fueron necesarias 72 horas. Luego se determinó y ajustó el diseño de mezcla para cada grupo de especímenes, la resistencia de diseño fue de 210 Kg/cm². Después de elaborar los especímenes de ambos grupos, se procedió a la rotura de especímenes en la máquina universal, obteniendo los resultados de resistencia a compresión a los 7 días, 14 días y 28 días. Los resultados obtenidos comprobaron la hipótesis inicial, puesto que la resistencia a compresión en los especímenes elaborados con agregados saturados con humedad superficial supera en un 27.25% en condición sin curado, 14.24% en condición de curado por aspersión, y 10.9% en condición de curado por inmersión, a la resistencia a compresión alcanzada por los especímenes elaborados con mezcla patrón y curados en las mismas condiciones que los especímenes de la mezcla de diseño.

Palabras clave: curado de concreto, saturación de agregados, resistencia a compresión.



ABSTRACT

In this investigation, the objective was to determine the increase in compressive strength of concrete elements made using aggregates as saturated with surface moisture, with respect to the compressive strength of concrete elements made with the standard mixture. This was done under three curing conditions (no cure, spray cure and immersion cure). In the hypothesis, it was stated that the compressive strength of concrete elements made with aggregates as saturated with surface moisture will be increased with respect to the compressive strength of concrete elements made with standard mix. To test this hypothesis, the experimental method was developed in the laboratory. First, it was determined that to achieve 100% aggregate saturation, 72 hours were necessary. Then the mix design was determined and adjusted for each group of specimens, the design resistance was 210 kg / cm². After preparing the specimens of both groups, specimens were broken in the universal machine, obtaining the results of compressive strength at 7 days, 14 days and 28 days. The results obtained proved the initial hypothesis, since the compressive strength in specimens made with aggregates saturated with surface moisture exceeds 27.25% in a condition without cure, 14.24% in a condition of spray cure, and 10.9% in condition of cure by immersion, to the compressive strength achieved by specimens made with standard mix and cured under the same conditions as specimens in the design mix.

Keywords: concrete curing, aggregate saturation, compressive strength.



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La realidad actual con respecto al curado de los elementos verticales de concreto no es tan alentadora en cuanto a resultados, pues no se ha logrado los beneficios ideales esperados y recomendados. En nuestro medio, como también en el mundo de la construcción se ha logrado desarrollar gran cantidad y variedad de aditivos para curar elementos de concreto, que en su mayoría crean una capa impermeable que sella el elemento de concreto para no dejar escapar el agua por efecto del calor de hidratación; sin embargo, según algunos estudios realizados, muestran que éstos aditivos no logran su cometido completamente y en muchos casos es deficiente.

Por otro lado, los métodos convencionales, como el uso de “arroceras” o por aspersión, no son aplicables eficazmente a todos los elementos de concreto, más que todo en elementos verticales como las columnas, placas, pilares, etc, que presentan una complicación particular pues no es posible que retengan agua en su superficie lateral por mucho tiempo debido a la gravedad.

Frente a esta realidad, también es indiscutible que el curado de un elemento de concreto es determinante en su endurecimiento y su resistencia final. Es aquí donde radica el objetivo de la presente tesis, que consiste en el diseño de mezclas utilizando agregados saturados con humedad superficial.

El fundamento es que el proceso de endurecimiento del elemento de concreto comienza desde la parte externa a la parte interna y en este proceso de contracción el agua contenida en el interior de los agregados, puesto que está previamente saturado, es suficiente para el proceso adecuado de curado del cemento, desde el interior mismo del elemento.

El estudio se llevó a cabo usando agregados del río Cajamarquino, cantera La Victoria, piedra chancada con ½” de TMN, y cemento Portland Tipo I Pacasmayo.



1.1. Planteamiento del Problema

En la actualidad no existe un método 100% eficaz para el curado de elementos verticales de concreto en obra, tales como: columnas, placas, pilares, y otros. Esta situación afecta negativamente el endurecimiento y resistencia final de los elementos de concreto, como concluyó Ruiz (2006):

cuando se utiliza el curador químico disminuye la eficiencia de la resistencia hasta un 5% conforme aumenta la dosificación de aditivo. También dice que las mezclas con 0.8, 1.4, 2.0% de aditivo que fueron curadas con una capa de curador tuvieron 97%, 96% y 92% de resistencia con respecto a la probeta patrón (curado húmedo), mientras que aquellas en las que no se le realizó curado alguno presentó 95%, 93% y 90% de resistencia con respecto a la probeta patrón. Además, agrega diciendo que con el curador químico se obtiene una ligera mejora con respecto a los demás curadores, pues se ha observado que la tendencia es de alcanzar una resistencia del 90% al 95% con respecto a la probeta patrón.

Por otro lado, Neville (1988) afirma que el mejor método de curado es por inmersión de los elementos de concreto en agua: “*es el método más completo de curado. Se usa cuando se trata de losas para pisos, puentes o pavimentos, techos planos (azoteas), es decir, en cualquier lugar donde sea posible almacenar agua con una altura pequeña (ejemplo: 2 cm)*”. Sin embargo, cuando se piensa aplicar en elementos de concreto verticales, aparece la complicación puesto que en obra sería imposible sumergir por completo una columna o placa.

Teniendo en cuenta esto, existe la necesidad de estudiar un método diferente de curado para elementos verticales de concreto de tal manera que garantice que los elementos de concreto verticales incrementen su resistencia a compresión de diseño con respecto a los métodos de curado usados convencionalmente como: por aspersión o inmersión.



1.2. Formulación del Problema

) *Pregunta General:*

¿Se incrementará la resistencia a compresión de diseño en los elementos verticales de concreto usando agregados en su condición de saturados con humedad superficial para la elaboración de la mezcla, como método de curado interno?

1.3. Justificación

La presente investigación se ha realizado para poder dar un aporte importante en Cajamarca sobre el proceso de curado de elementos verticales de concreto que influye directamente en alcanzar su resistencia de diseño. Este aporte es importante porque los métodos existentes de curado, según estudios realizados (ver ítem 2.1-Antecedentes), tanto a nivel local como nacional e internacional, no son completamente eficaces, y mucho menos en nuestro medio donde la construcción se practica con métodos empíricos.

1.4. Alcances o Delimitación de la investigación

Frente a la problemática presentada en esta investigación se consideró pertinente la utilización de material propio de la localidad en donde se llevó a cabo el estudio. Se usaron agregados de la Cantera La Victoria, en el río Cajamarquino, por lo que los resultados obtenidos son aplicables específicamente para concreto elaborado con agregados de la cantera La Victoria, puesto que las características físicas y mecánicas de los agregados varían dependiendo el lugar de procedencia. No obstante, los resultados pueden servir como referencia para extender la investigación usando agregados de otras canteras

En el ámbito práctico, los resultados de esta investigación servirán principalmente en el campo de construcción, introducidos como un método diferente de curado en el proceso de elaboración del concreto, que finalmente redundará en construcciones más seguras en beneficio de la sociedad.

En el ámbito teórico, los resultados de esta investigación quedarán registrados para servir como antecedentes a futuras investigaciones, que a su vez favorecerán al estudio del concreto, al introducir un nuevo campo de investigación que resulte en nuevos métodos prácticos, que mejoren o reemplacen los antiguos y poco eficaces.



1.5. Limitaciones

Las limitaciones en este estudio son la presencia de sustancias degradantes como sulfatos, cloruros y materia orgánica presentes tanto en los agregados, como en el agua de mezcla, puesto que éstos perjudican los procesos químicos que se desarrollan en la elaboración del concreto influyendo negativamente en la resistencia a la compresión del concreto.

Otra limitación de este trabajo experimental es respecto al alcance de los resultados; ya que en este estudio solamente se ha puesto a prueba el material de una cantera, de una zona específica, por lo que los resultados encontrados no se pueden generalizar en cuanto a la resistencia del concreto cuando la mezcla se haga con material de otra cantera. Sin embargo, esto da lugar a que se extienda esta investigación y se evalúe el material de otras canteras

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Determinar el porcentaje de incremento de la resistencia a compresión de diseño en los elementos verticales de concreto usando agregados en su condición de saturados con humedad superficial como método de curado interno, con respecto a la resistencia a la compresión de diseño de elementos verticales de concreto elaborados con mezcla patrón, en las tres condiciones de curado estudiadas: sin curado, por aspersion, y por inmersión.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados.
- Determinar el tiempo de saturación de los agregados al 100%.
- Determinar la resistencia a compresión de diseño en los especímenes de concreto usando agregados en su condición de saturados con humedad superficial, en 3 edades diferentes de rotura (7 días, 14 días, 28 días) y en tres condiciones de curado diferentes (sin curado externo o a la intemperie, con curado externo por aspersion, con curado externo por inmersión).
- Determinar la resistencia a compresión de diseño en los especímenes de concreto usando la mezcla patrón, en 3 edades diferentes de rotura (7 días, 14 días, 28 días) y en tres condiciones de curado diferentes (sin curado externo a la intemperie, con curado externo por aspersion, con curado externo por inmersión).



- Comparar la resistencia a compresión de diseño de los especímenes de concreto elaborados con agregados en su condición de saturados con humedad superficial, con la resistencia a compresión de diseño de los especímenes de concreto elaborados con mezcla patrón, en las tres condiciones diferentes de curado.



CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Ya que el tema en estudio no es nuevo, anteriormente se han realizado investigaciones con respecto al curado del concreto y su incidencia en la resistencia a compresión de diseño. A continuación, se presentan algunas de ellas, que han sido tomadas como referencia y punto de partida para demostrar algunas afirmaciones y conceptos que se están presentando en este trabajo.

Ruiz (2006) encontró que *“cuando se utiliza el curador químico disminuye la eficiencia de la resistencia hasta un 5% conforme aumenta la dosificación de aditivo”*. Esto indica que la utilización de aditivos químicos para curado no siempre ayuda o incrementa la resistencia a compresión de diseño del concreto. El mismo autor refiere en su experimento:

“...las mezclas con 0,8, 1,4, 2,0% de aditivo que fueron curadas con una capa de curador tuvieron 97%, 96% y 92% de resistencia con respecto a la probeta patrón (curado húmedo), mientras que aquellas que no se le realizó curado alguno presentó 95%, 93% y 90% de resistencia con respecto a la probeta patrón...con el curador químico se obtiene una ligera mejora con respecto a los demás curadores, pues se ha observado que la tendencia es de alcanzar una resistencia del 90% al 95% con respecto a la probeta patrón” (p. 105).

Aunque los aditivos químicos disminuyen en alguna medida la resistencia, tal como lo indicó Ruiz (2006), pueden ofrecer otros beneficios en el curado interno. En una investigación se reveló que *“Las soluciones de curado interno mejoradas con SRA o NA fueron más efectivas para mitigar la deformación autógena”* (Durán-Herrera, De-León y Juárez, 2012). Además, se afirmó que *“la reducción de la tensión superficial de la solución SRA para el curado interno a valores de 30 mN/m, resultaron ser una forma efectiva para mitigar la contracción autógena y por secado”* (Durán-Herrera, De-León y Juárez, 2012).



Por otro lado, Figueroa (2007) concluyó en su investigación que los *“ensayos realizados no fueron suficientes para determinar si un compuesto de curado es suficiente en la protección contra la evaporación excesiva de agua y sus repercusiones en la vida útil del hormigón”*; indicando implícitamente la importancia de la continuación de estudios en estos temas.

Respecto al curado en el hormigón, Manobanda (2013) manifiesta, en su estudio, la importancia de elaborar un cuidadoso trabajo para mantener el hormigón en la condición apropiada de humedad puesto que ello garantizaría una mejor resistencia. El autor concluye en su estudio: *“Con el presente proyecto se demuestra la importancia que tiene el curado en el hormigón, ya que claramente se puede notar que un hormigón que ha permanecido expuesto al aire, sin ningún tipo de curado, a los 28 días alcanza un 60% de la resistencia obtenida por un hormigón que ha permanecido esos 28 días en condiciones de humedad y temperatura favorables.”*

También se han elaborado estudios donde se pone en evidencia la importancia del aire en el hormigón para mejorar el curado del cemento. El trabajo de Al-Assadi (2009) es un claro ejemplo de ello; pues indica en su investigación que *“...las probetas sin aireante muestran un deterioro de sus propiedades mecánicas tras el ensayo de hielo-deshielo. Sin embargo, la inclusión de aire beneficia el comportamiento del hormigón frente a los ciclos hielo-deshielo, de modo que incluso mejoran sus propiedades mecánicas tras el ensayo. Por otra parte el volumen y tamaño de poros es mayor antes de los ciclos hielo-deshielo que después. Ambos resultados se pueden achacar a que durante el ensayo de hielo/deshielo se completa la hidratación del cemento, insuficientemente desarrollada al principio por la baja humedad y alta temperatura de curado. Este comportamiento anómalo se explica porque el proceso de hidratación del cemento continúa durante los ensayos hielo-deshielo, cerrando la red porosa.”*

En esta misma línea investigó Trujillo (2011), encontrando que: *“La sustitución de arena de peso normal por un 20% de agregado saturado reduce la fluidez y mantiene igual o aumenta el contenido de aire.”*



Y añade *“En todos los casos, la sustitución de agregado de peso normal por agregado ligero saturado, en conjunto con la sustitución de cemento por ceniza volante o humo de sílice, condujo a reducciones de la retracción por secado en valores promedio que fueron de un 10% a un 13% para la ceniza volante y de un 13% a un 28% para humo de sílice.”* (p.153)

En el mismo estudio, el autor refiere que la sustitución de agregado ligero saturado fino origina un aceleramiento, que podría atribuirse a una mayor actividad de hidratación, promovida por el agua, que se encuentra en el interior del agregado. En este sentido, la pumicita origina mayor aceleramiento que la arcilla expandida. Ante esto, los resultados del estudio ilustran que *“La arcilla expandida originó una reducción promedio en la resistencia a la compresión de 12% para la mezcla de referencia; pero las mezclas con ceniza volante y humo de sílice no sufrieron esta disminución”* (Trujillo, 2011).

En otras investigaciones referentes a resistencia por compresión se encontró que: *“La resistencia a la compresión de los concretos con material cerámico sólo aumenta cuando se tiene la relación a/c baja. En la medida en que aumenta la relación a/c, la resistencia a la compresión disminuye, por lo que pierde efectividad el uso de material cerámico para curado interno de mezclas de concreto. Con la relación a/c más baja se obtuvieron incrementos en la resistencia a la compresión del orden del 24% a los 90 días, con porcentajes de reemplazo del 40% de material cerámico, valdría la pena analizar qué puede pasar con porcentajes superiores. Los resultados obtenidos son similares a los encontrados por Suzuki et al, 2009.”* (Aldana, 2014).

Además, este mismo investigador concluyó que *“El módulo de elasticidad del concreto se reduce para concretos con curado interno en la medida en que se aumenta la relación a/c de la mezcla. La reducción del módulo de elasticidad para los concretos utilizados en este estudio es del orden de un 16% para mezclas con relación a/c de 0.30, y del orden de un 30% para relación a/c de 0.50, con porcentajes de reemplazo con material cerámico hasta el 40%. Así que, dependiendo el uso que se le dé, no es viable la inclusión de material cerámico para proveer curado interno en las mezclas de concreto, puesto que se reduce una de las propiedades más importantes del concreto a la hora de realizar el diseño estructural, ya que serían concretos muy propensos a las deformaciones.*



El efecto de la reducción del módulo de elasticidad es conveniente o inconveniente dependiendo del uso que tenga la mezcla de concreto, por ejemplo, para pavimentos es deseable una mayor deformabilidad (menos módulo de elasticidad), mientras que en edificios es mejor tener concretos que se deformen poco, por el tema de deflexiones y derivas”. (Aldana, 2014).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Generalidades del concreto.

El concreto es el material de construcción, que por su gran manejabilidad y maleabilidad en su estado fresco es ideal para adoptar casi cualquier forma geométrica. Actualmente es el material más usado en la construcción en el mundo y su consumo aproximado anual es de 11,000 millones de m³ (Uninter, 2017). En Perú la producción anual de cemento es de 10,641 millones de toneladas métricas (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2017).

La composición básica del concreto es cemento, agua y agregados. El cemento y los agregados representan un 25% y 65% del concreto respectivamente, aunque esto puede variar según el uso y destino del concreto. De esta manera, las propiedades químicas y físicas del concreto dependerán en gran medida de las propiedades que presenten estos materiales y del grado en que el cemento se hidrate. Una hidratación pobre del cemento conduce a una porosidad en el concreto final.

El cemento, en el sentido general de la palabra, puede ser descrito como un material con propiedades adhesivas y cohesivas las cuales lo hacen capaz de unir fragmentos de minerales dentro de una masa compacta. Esta definición abarca una gran cantidad de materiales cementosos. Para fines de construcción, la palabra cemento es utilizada para todo aquel material cuya finalidad es unir ladrillos, rocas o bloques. Los tipos de cementos utilizados para la fabricación de tuberías de drenaje tienen la propiedad de endurecerse cuando se mezcla con agua, bajo una reacción química y de ésta manera reciben el nombre de cementos hidráulicos.



Como los agregados ocupan un gran volumen del concreto formado, su calidad es de gran importancia, ya que no solo pueden afectar la fortaleza del concreto, sino también su durabilidad y su resistencia al ataque de ácidos y sulfatos. El uso del agregado es visto en muchos casos como material inerte y económico, con el que se puede aumentar los volúmenes de pasta de concreto, sin embargo, también representa un buen material de construcción que no es totalmente inerte. Sus propiedades térmicas, físicas y algunas veces las propiedades químicas influyen en las propiedades del concreto. Un buen ejemplo de lo anterior es el uso de agregados alcalinos para aumentar la resistencia del concreto al ataque de ácidos.

2.2.2. Cemento

El cemento Portland es un polvo de color gris, más o menos verdoso. Se vende en bolsas que tienen un peso neto de 42.5 kg y un pie cúbico (1 pie³) de capacidad. En aquellos casos en que no se conozca el valor real se considerará para el cemento un peso específico de 3.15 g/cm³. (Abanto, 2009, p.16), En nuestro caso el peso específico proporcionado por el fabricante es de 3.13 g/cm³.

Materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. (Rivva, 2000, p. 30)

Utiliza principalmente 2 materias primas: una caliza, con un alto contenido de cal en forma de óxidos de calcio, y un componente rico en sílice, constituido normalmente por arcilla o eventualmente por una escoria de alto horno. (Aragón, 2006).

La hidratación del cemento es tanto más rápida y más completa cuando mayor sea la finura de su molido. (Aragón y Solano, 2006, p. 52)

Si se divide la resistencia de un concreto por su contenido de cemento, se obtiene una medida de la eficiencia del cemento: (Rivera, *s.f.* p. 105).

- ***Tipos de cementos fabricados en el Perú***

La Norma NTP 334.009, 2013 establece los siguientes tipos de cementos Pórtland:



- *Tipo I:* Para uso general que no requiera propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.
- *Tipo II:* Para uso general, y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos.
- *Tipo II (MH):* Para uso general, y específicamente cuando se desea un moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos.
- *Tipo III:* Para ser utilizado cuando se requiere altas resistencias iniciales. (PRODUCCIÓN ESPECIAL BAJO PEDIDO).
- *Tipo IV:* Para usar cuando se desea bajo calor de hidratación. (PRODUCCIÓN ESPECIAL BAJO PEDIDO).
- *Tipo V:* Para usar cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

• **Los compuestos principales del cemento**

Durante el proceso de fusión de la materia prima que ha de dar origen al Clinker se forman silicatos cálcicos, aluminatos cálcicos y ferritos de composición compleja. (Rivva, 2000, p. 49)

Tabla N° 1

Compuestos del cemento Portland (compuestos Bogue/componentes potenciales).

Compuestos	%	Calor de hidratación	Nombre común
Silicato Tricálcico: 3 CaO.SiO ₂ (C3S)	30 a 60	120	Alita
Silicato Bicálcico: 2 CaO.SiO ₂ (C2S)	15 a 37	62	Belita
Aluminato Tricálcico: 3 CaO.Al ₂ O ₃ (C3A)	7 a 15	207	-
Ferroaluminato Tetracálcico: 4 CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ (C4AF)	8 a 10	100	Celita

Nota: exportado de Rivva (2000)



Tabla N° 2
Composición química del cemento (centesimal)

COMPONENTE	CANTIDAD (%)
CaO	60 al 67 (Cal)
SiO ₂	17 al 25 (Sílice)
Al ₂ O ₃	3 al 8 (Alúmina)
Fe ₂ O ₃	0.5 al 6 (Óxido de Hierro)
MgO	< 2.5 (Óxido de Magnesio)
K ₂ O + Na ₂ O	0.6 (Álcalis)
Perdida por	2.3 (PC)
Residuo insoluble	± 0.5 (RI)
SO ₃	2 al 4 (Anhídrido Sulfúrico)
CaO Residuo	< 2 (Cal libre)
Suma	100%

Nota: Extraído de Rivva (2000)

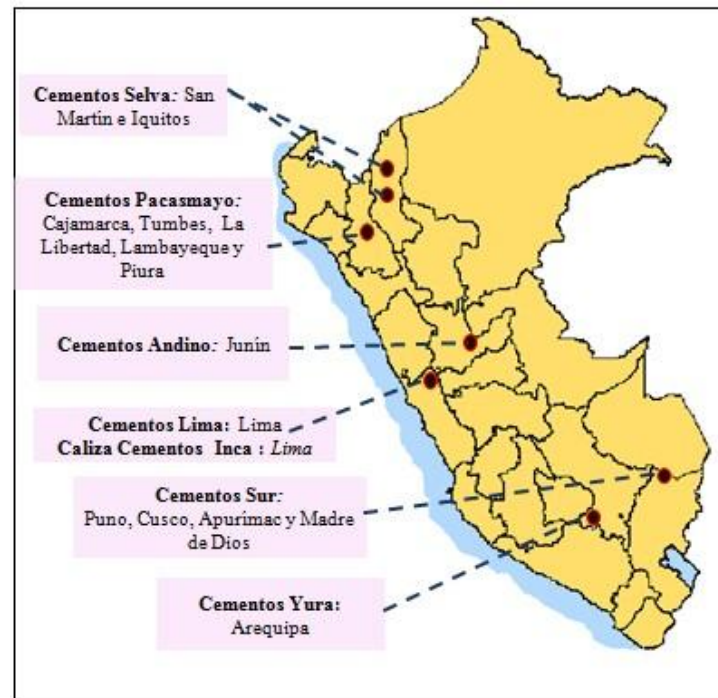
Tabla N° 3
Composición típica (potencial) de los cementos Portland.

Tipo de cemento	C						PC	CL
	C3	C2	C3	C4A	Mg	SO	%	%
I	5	1	1	7	2.	2.	1	1
II	5	2	6	1	2.	2.	0.	1
III	5	1	1	7	3	3.	1	1.6
IV	2	4	4	1	1.	1.	0.	0.8
V	3	4	4	9	1.	1.	0.	0.8

Nota: Extraído de Rivva (2000)

• Estructura de Mercado y Grado de Concentración Industrial

Las empresas que conforman el sector son 7. A continuación mostramos un gráfico que describe los mercados (regiones) a las que atienden cada una de las empresas (CENTRUM-Centro de Negocios, 2010, p 11).



Nota: Extraído de CENTRUM - Centro de Negocios (2010)

Figura 1. Zonas de influencia geográfica de las empresas cementeras.

2.2.3. Componentes y Proceso De Hidratación del Cemento Portland.

Por ser uno de los cementos más ampliamente usado y fabricado en todo el mundo, el cemento Portland representa un ejemplo adecuado en el análisis de composición y propiedades de los cementos.

Las materias primas para la fabricación de cemento Portland son los minerales ricos en CaO, sílice, alúmina y óxido de fierro. Estos minerales al ser horneados reaccionan unos con otros y forman una serie de óxidos complejos (clinker) que, junto con el CaO que no reaccionó, alcanzan un equilibrio. La tabla 4 muestra los principales componentes del cemento Portland con sus respectivas abreviaciones.



En este caso $C=CaO$, $S=SiO_2$, $A=Al_2O_3$ y $F=Fe_2O_3$ y agua es denotada con H. la variación en porcentaje de estos componentes en el cemento da como resultado diferentes tipos de cemento. La Tabla 5 muestra la composición límite de los componentes para diferentes tipos de cemento.

Aparte de los componentes listados en la Tabla 4, existen otros que se encuentran en menor proporción como MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O y Na_2O , los cuales ocupan solo un porcentaje mínimo del cemento, sin embargo, el MgO y K_2O conocidos como álcalis, son de gran importancia ya que éstos reaccionan con algunos agregados y causan la desintegración y la pérdida de fortaleza del concreto.

Las proporciones de cada elemento pueden variar considerablemente de cemento a cemento y de esa manera se pueden obtener diferentes tipos de cementos con solo modificar las cantidades de sus componentes. Existen una serie de ecuaciones y métodos para calcular la composición en relación al peso total del cemento. Una de ellas es la ecuación de Bogue y se expresa en los siguientes términos:

$$C_3S = 4.07(CaO) - 7.60(SiO_2) - 6.72(Al_2O_3) - 1.43(Fe_2O_3) - 2.85(SO_3)$$

$$C_2S = 2.87(SiO_2) - 0.754(3CaO.SiO_2)$$

$$C_3A = 2.65(Al_2O_3) - 1.69(Fe_2O_3)$$

$$C_4AF = 3.04(Fe_2O_3)$$

Tabla N° 4
Principales componentes del cemento Portland.

Nombre del componente	Composición	Abreviación
Silicato tricálcico	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Silicato bicálcico	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Aluminoférrico tetracálcico	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF



Tabla N° 5
Límites de componentes según tipos de cemento Portland.

Componente	Tipos de cemento				
	I	II	III	IV	V
C ₃ S máximo				35	
C ₂ S máximo				40	
C ₃ A máximo		8	15	7	5

Tabla N° 6
Composición de Oxidos y Componentes del Cemento Portland.

Composición típica de óxidos	(%)	Composición de componente calculada en porcentaje (Ecuación de Bogue)	(%)
CaO	63	C ₃ A	10.8
SiO ₂	20	C ₃ S	54.1
Al ₂ O ₃	6	C ₂ S	16.6
Fe ₂ O ₃	3	C ₄ AF	9.1
MgO	1.5		
SO ₃	2		
K ₂ O			
Na ₂ O	1		
Otros	1		
Pérdida por ignición	2		
Residuo insoluble	0.5		

La Tabla 6 muestra la composición de óxidos y la de componentes calculados para el cemento Portland típico. El residuo insoluble es una medida de las impurezas del cemento



que, en gran proporción provienen del CaSiO_4 , el cual se muele junto con el Clinker en una etapa posterior a la de horneado, con el fin de eliminar la mayor cantidad posible de C_3A del cemento. La pérdida por ignición representa el grado de carbonatación e hidratación del CaO y Mg libres, debido a la exposición del cemento a la atmósfera. El máximo permitido es del 3 al 4% según el clima de la región.

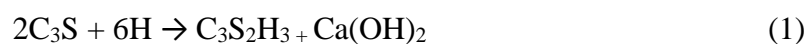
Hidratación del Cemento.

Las reacciones por las cuales el cemento se vuelve un agente enlazante (capaz de compactarse en una masa sólida) toman lugar cuando el cemento se pone en contacto con el agua. Los silicatos y aluminatos en presencia de agua, forman productos de hidratación los cuales proporcionan con el tiempo firmeza y dureza al gel (cemento-agua). Estos productos tienen baja solubilidad en agua, como se puede observar en la estabilidad del cemento endurecido en contacto con agua. Sin embargo no todo el cemento se logra hidratar por lo que el cemento hidratado enlaza firmemente al cemento que no reaccionó.

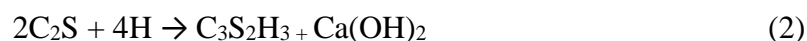
La velocidad de hidratación disminuye continuamente y aún después de mucho tiempo una cantidad apreciable de cemento permanece sin reaccionar. Por ejemplo, después de 28 días de contacto con agua, se ha encontrado que los granos de cemento se han hidratado solamente a una profundidad de $4\ \mu\text{m}$ y $8\ \mu\text{m}$ después de un año. Powers calculó que es posible una completa hidratación bajo condiciones normales solo para tamaños de partículas menores que $50\ \mu\text{m}$, pero se ha obtenido una total hidratación moliendo cemento y agua por 5 días.

La hidratación de C_3S y C_2S producen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que corresponde al 25% del concreto formado. Estos dos compuestos son los únicos elementos “cementosos” y su comportamiento físico durante la hidratación es similar a la hidratación del cemento. Cuando la hidratación se lleva en un medio con una cantidad de agua limitada, C_3S y C_2S forman $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$, un silicato de baja basicidad con el desprendimiento de CaO como $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Las reacciones de hidratación (sólo como guía ya que no son ecuaciones estequiométricas) para C_3S y C_2S son las siguientes:

Para C_3S



Para C_2S

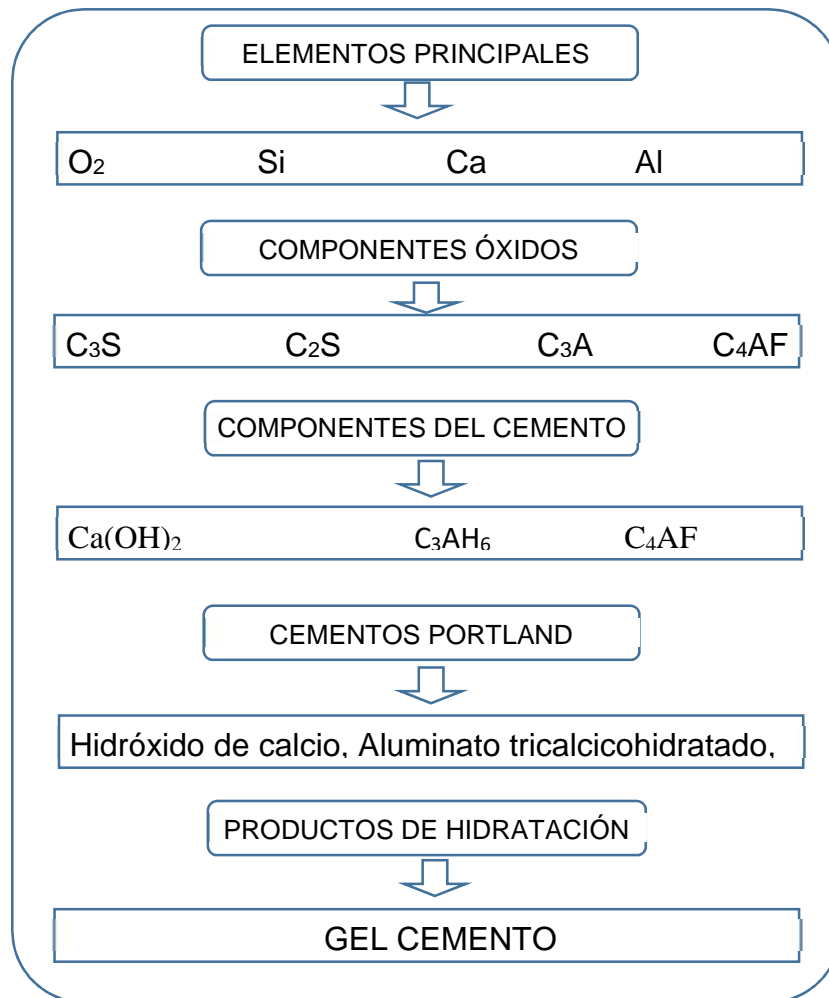


La cantidad de C_3A en muchos cementos es mínima, pero su comportamiento en otras fases del cemento lo hacen de gran importancia. La reacción de C_3A con el agua es violenta y conduce a endurecimiento inmediato del gel.

Para prevenir esto se añade $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ al cemento el cual reacciona con C_3A para dar $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 31H_2O$, aunque eventualmente se produce aluminato tricálcico hidratado. La reacción de hidratación para C_3A puede escribirse de esta manera:



El $CaSO_4$ no solo reacciona con C_3A sino que forma sulfoferrita cálcica y sulfoaluminato cálcico con C_4AF y su presencia puede acelerar la hidratación de los dos silicatos. La figura 2 muestra el proceso globalizado de la formación del cemento Portland.



Nota: Elaboración propia

Figura 2. Representación esquemática de la formación e hidratación del cemento Portland.

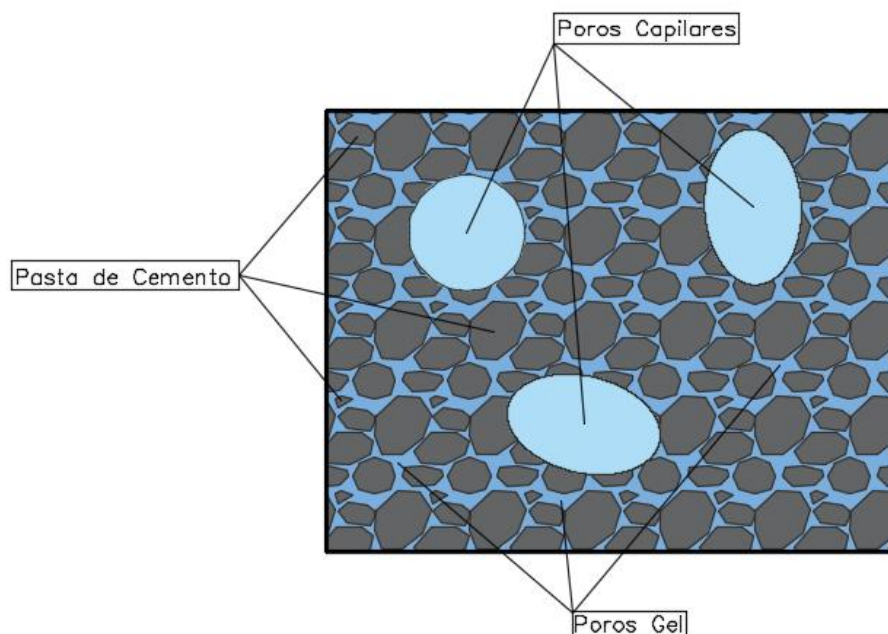


Porosidad del Concreto.

Muchas de las propiedades mecánicas del concreto dependen, no tanto de la composición química de los productos de hidratación, sino de la estructura física de éstos. La pasta endurecida de cemento, en cualquier estado de hidratación, consiste de hidratos de varios componentes, cristales de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, algunos componentes menores, cemento no-hidratado y residuo de agua en los poros en la pasta aun fresca. Estos poros son llamados poros capilares, los cuales representan los espacios que no han sido llenados por los productos de hidratación. De esta manera, esta porosidad depende del grado de hidratación y de la razón agua-cemento al mezclarse.

Para relaciones de agua-cemento mayores de 0.38, el gel producido no es suficiente para llenar el volumen disponible por lo que habrá algo de poros capilares aun cuando el proceso de hidratación haya sido completo. Los poros capilares no pueden verse directamente pero su tamaño puede estimarse por la presión de vapor siendo del orden de $1.3 \mu\text{m}$. En un estado de hidratación del 100%, los poros capilares corresponden aproximadamente al 14% del volumen de la pasta endurecida.

La gel o cemento fresco es una masa plástica de partículas de cemento en agua, la cual puede retener grandes cantidades de agua evaporada. De esta manera, puede decirse que el mismo gel es poroso. Sin embargo, estos poros son en realidad espacios intersticiales interconectados entre las partículas del gel. Dichos poros son mucho más pequeños que los capilares, entre 15 y 20 \AA en diámetro y ocupan el 28% del volumen total del gel. En el transcurso de la hidratación, los poros del gel aumentan mientras los poros capilares van decreciendo en volumen ocupado. La Figura 3 muestra las dos clases de poros que existen en el cemento hidratado.



Nota: Elaboración propia en base a la teoría

Figura 3. Representación de los poros en la pasta de cemento (hidratado).

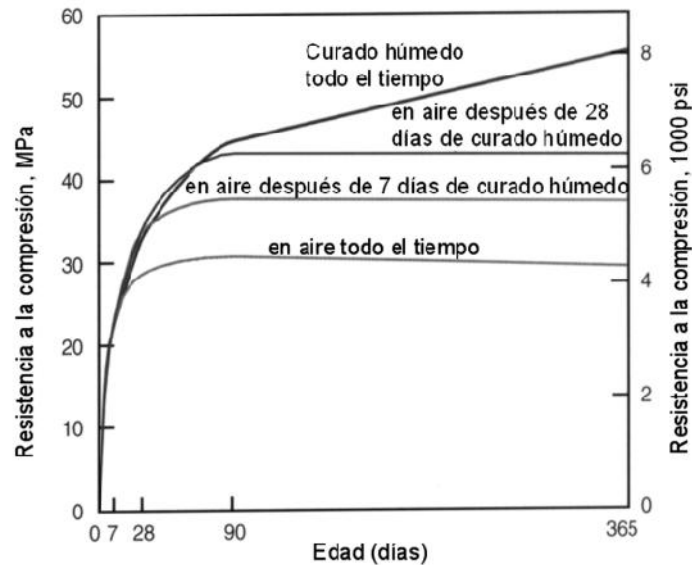
2.2.4. Curado del Concreto.

Mehta y Monteiro (1993) definen curado como todos aquellos procedimientos para promover la hidratación del cemento los que consisten en manejo del tiempo, de la temperatura y la humedad inmediatamente después de la colocación del hormigón.

El curado es necesario no sólo para alcanzar la resistencia requerida sino para alcanzar el óptimo en todas las propiedades del hormigón. Se requiere de un adecuado suministro de humedad para asegurar la hidratación de los componentes del cemento, reducir así la porosidad y maximizar las propiedades mecánicas y durabilidad (Mindess et al., 2003).

Powers (1947) demostró que si la humedad relativa en los capilares baja de 80%, la hidratación se detiene. Esto implicaría que si las condiciones de humedad relativa del ambiente son mayores a 80 % no habría necesidad de suministro de agua externamente. Neville (1996) concluye que, en la práctica debido al viento, diferencias en temperatura y otros, siempre habrá migración de humedad desde el hormigón hacia el ambiente, por lo que “curado natural” no existe.

Kosmatka et al., (2002) afirman que el agua de mezclado en hormigones convencionales es usualmente mayor que el agua requerida para la hidratación del cemento. Sin embargo, pérdidas de agua desde el hormigón al ambiente pueden retrasar o incluso detener la hidratación. La Figura 4 muestra evidencia empírica del efecto del suministro externo de agua de curado en la resistencia a compresión del hormigón.



Fuente: Hernán de Solminihac, Revista Ingeniería de Construcción, 20 (2), Agosto de 2005,

Figura 4. Efecto del tiempo de curado en la resistencia a la compresión del hormigón

2.2.5. Curado Interno del Concreto

Powers (1947) desarrolló un simple grupo de ecuaciones empíricas para modelar las diferentes fases presentes en un sistema que contiene cemento portland y agua. En su modelo Poder define 5 entidades: (a) cemento sin hidratar, (b) agua, (c) productos de hidratación, (d) porosidad de los productos de hidratación y (e) porosidad capilar. El volumen ocupado por cada una de estas fases depende del grado de hidratación del cemento.

Por ejemplo, para un grado de hidratación igual a cero, hay solamente cemento y agua, y su volumen está dado por el volumen de cada uno de ellos adicionado originalmente. Para un grado de hidratación completo (100 %), el volumen de cemento es cero, y el volumen de productos de hidratación es aproximadamente 0.68 cm³ por gramo de cemento originalmente adicionado y el volumen de porosidad (en los productos de hidratación y capilares) está dado por la



razón agua – cemento (W/C). Dicha razón determina el espaciamiento inicial entre las partículas de cemento y por lo tanto el espaciamiento dentro de la pasta de cemento (porosidad) después de que el cemento se ha hidratado.

La formación de los silicatos de calcio hidratados y del hidróxido de calcio puede llevarse a cabo sólo si se reúnen dos requisitos: (a) si hay suficiente espacio para que los productos de hidratación se formen y (b) si hay suficiente agua para ser usada durante la hidratación (Mindess et al., 2003).

El espacio disponible para los productos de hidratación disminuye a medida que la hidratación progresa, en este sentido se puede alcanzar cierto punto donde el espacio no es suficiente para continuar la hidratación. Utilizando las ecuaciones propuestas por Powers, se puede demostrar que esto ocurre para W/C bajo 0.36. Como consecuencia, en sistemas bajo ese límite no ocurrirá hidratación completa, incluso entregando agua externamente. Cuando la W/C está ligeramente sobre 0.36, si bien se tiene espacio suficiente para los productos de hidratación, no se cuenta con el agua suficiente para hidratarlos. En un sistema cerrado en el que no se pierde agua al ambiente ni se recibe agua desde el ambiente, la W/C debe ser mayor a 0.42 para poder alcanzar una hidratación del 100 % (Mindess et al., 2003).

Basado en lo anterior cualquier sistema con W/C entre 0.36 y 0.42 requiere de agua adicional para alcanzar el 100 % de hidratación. De la misma manera, mezclas con W/C menores a 0.36 requieren del suministro de agua externa para alcanzar el máximo grado de hidratación que no será 100 % por no contar con el espacio suficiente.

Todo lo anterior se concluye asumiendo que no hay pérdidas de agua por evaporación al ambiente. En realidad, puede haber pérdidas importantes al ambiente debido a diferencias en temperatura, viento, diferencias en humedad relativa, y radiación solar (Neville, 1996). Tomando en cuenta dichas pérdidas, se requiere suplir aún una mayor cantidad de agua para alcanzar el máximo grado de hidratación.

NOTA: W/C es igual a relación agua/cemento (A/C).



Si bien las ecuaciones desarrolladas en el modelo de Powers se aplican sólo a sistemas de cemento portland y agua, las conclusiones respecto a la necesidad de agua de curado pueden ser extendidas a sistemas más complejos.

2.2.6. Principios del Curado Interno.

Dada la importancia del agua de curado y la dificultad de proveerla desde el exterior en hormigones de alto desempeño, la idea de proveer agua desde el interior del hormigón cobra una especial importancia (Weber y Reinhardt, 1997).

A partir del Modelo de Powers se concluye que a menor W/C, menor es la porosidad capilar. Por otro lado, del mismo modelo se puede observar que a W/C bajas puede no existir suficiente agua para hidratar todo el cemento. De lo anterior se tiene que al momento de mezclado se requiere de una W/C lo más baja posible, pero al cabo de un tiempo cuando el agua se ha acabado se requiere de agua adicional para continuar con la hidratación (Bentz y Snyder, 1999; Jensen y Hansen, 2001b).

Así, el principio fundamental del curado interno es el incorporar agua en la mezcla que no está disponible para la hidratación al comienzo (baja W/C), pero que es liberada más tarde cuando es requerida para continuar la hidratación.

Bentz y Snyder (1999) destacaron la importancia de una aplicación del curado interno de manera homogénea. No es suficiente el contar con el agua al interior del hormigón, sino que ésta debe encontrarse disponible para la hidratación.

La mayoría de los granos de materiales cementicios deben estar cercanos a la fuente de almacenamiento de agua ya que la distancia de viaje del agua es muy variable.

Lura et al., (2003) midieron desplazamiento de agua desde la fuente de almacenamiento de hasta 4 mm en mezclas de W/C de 0.3.

Sin embargo, ellos concluyeron que el transporte de agua dentro del hormigón está afectado por factores como: (a) permeabilidad de la mezcla, la cual se reduce a

NOTA: W/C es igual a relación agua/cemento (A/C).



medida que la hidratación continúa; (b) W/C, y (c) uso de microsílica u otros materiales cementicios. La distancia de viaje del agua dentro del hormigón puede ser entonces reducida a los niveles reportados por Bentz y Snyder (1999) de tan sólo 0.1 a 0.2 mm.

Independiente del método utilizado para almacenar agua dentro del hormigón, el mecanismo de liberación de ella es básicamente el mismo. Weber y Reinhardt (1997) y Holm et al., (2003) explicaron que a medida que la hidratación del cemento procede, un sistema de porosidad capilar se forma en la pasta de cemento. El radio de estos poros y la humedad relativa al interior de ellos disminuyen a medida que más productos de hidratación se forman, llegando un cierto punto en que estos poros son capaces de absorber agua de la fuente de almacenamiento por acción capilar. A medida que más hidratación ocurre y los poros se hacen más finos dicha fuerza capilar aumenta siendo capaz de succionar más agua de la fuente. Este proceso se detiene cuando el agua de la fuente se ha agotado o cuando la totalidad del cemento de ha hidratado o si la permeabilidad de la pasta es muy baja y no permite el transporte de agua.

2.2.7. Métodos para incorporar agua en el Concreto.

En la sección anterior se explica el mecanismo del curado interno. Ahora, se revisan diferentes métodos de incorporar el agua dentro del concreto.

De acuerdo con Bentz y Snyder (1999), Philleo fue el primero en sugerir la idea de curado interno en 1991, mediante el uso de agregado liviano.

Desde entonces, diversos autores han estudiado el uso de agregado liviano como método de incorporar agua en el hormigón (Weber y Reinhardt, 1997; Khono et al., 1999; Bentz y Snyder, 1999; Bentur et al., 2001; Zhutovsky et al., 2002; Lura et al., 2003; Hoff, 2003; Holm et al., 2003; López et al., 2006). Estos autores han explorado el uso de agregado liviano natural y artificial, agregado liviano fino y grueso, y el reemplazo parcial o total de agregado normal por agregado liviano. En todos estos estudios se ha demostrado un alto grado de efectividad en el curado interno usando agregados livianos.

NOTA: W/C es igual a relación agua/cemento (A/C).



Debido a su estructura porosa, los agregados livianos pueden presentar una absorción después de 24 horas de inmersión entre 5 a más 25 % (Holm y Bremner, 2000), ello permite la incorporación de altas cantidades de agua para curado interno. La cantidad de agua incorporada depende de la absorción y cantidad de agregados liviano, ésta puede alcanzar valores de 60 l/m³ de hormigón (Holm et al., 2003) y de hasta 190 l/m³ si se utiliza agregado fino y grueso de alta absorción (Jensen y Lura, 2003).

El agua busca espontáneamente niveles de energía más bajos; por ello en el hormigón el agua se mueve desde los poros más grandes a los más pequeños. Como consecuencia, los poros de mayor diámetro son los primeros en vaciarse continuando con poros cada vez más pequeños. Cuando un cierto límite en el diámetro de los poros es alcanzado, el agua se encuentra en niveles suficientemente bajos de energía y no es cedida. Según Jensen y Lura (2003), dicho límite es aproximadamente 0.1 μ m y por lo tanto poros de menos tamaño no contribuyen al curado interno.

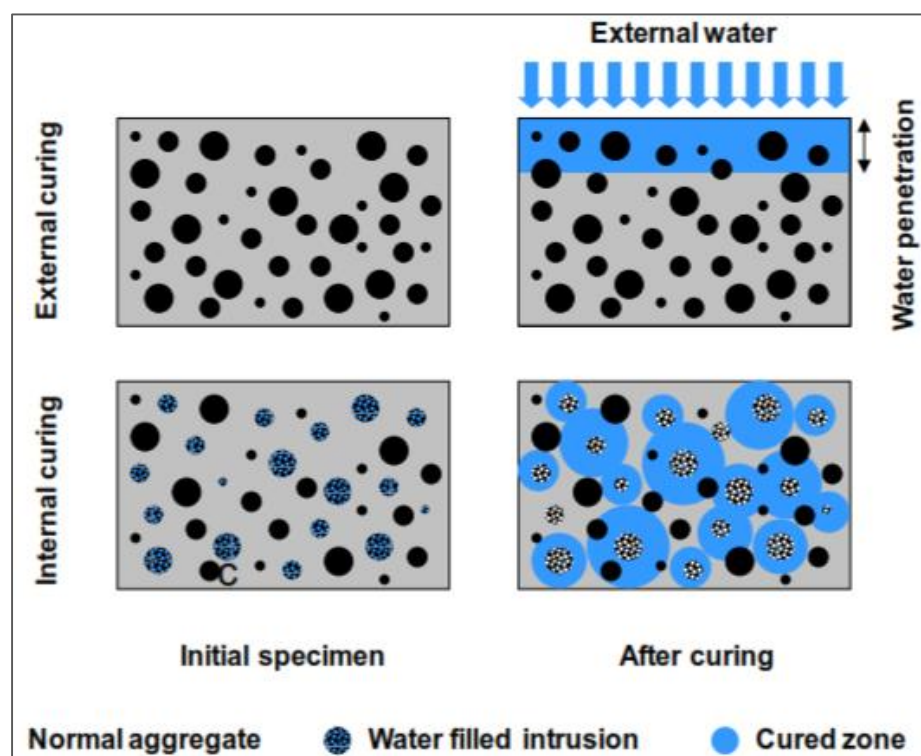
Una de las posibles desventajas de reemplazar agregado normal por liviano es que la resistencia y módulo de elasticidad del hormigón disminuyen (ACI- 213, 2003; Shah y Ahmad, 1994; Holm y Bremner, 2000). Los polímeros súper absorbentes surgen, así como una alternativa a los agregados livianos como agente incorporador de agua (Jensen y Hansen 2001b, 2002).

Hay una gran variedad de polímeros súper absorbentes, ellos pueden absorber hasta 5000 veces su peso en agua dependiendo de su estructura.

Sin embargo, la mayor cantidad de estos polímeros es actualmente utilizada en pañales desechables donde alcanzan absorciones de alrededor 50 veces su peso en agua (5000 %). Estos polímeros se incorporan en estado seco a la mezcla como un aditivo más. Su tamaño promedio en estado seco puede estar entre 0.1 y 0.25 μ m lo que puede aumentar hasta 3 veces después que han absorbido el agua (Jensen y Hansen 2002). Una vez que el polímero súper absorbente ha entregado el agua a la pasta cementicia, deja una porosidad que según Jensen y Hansen (2003), puede ser comparada a la porosidad de un aditivo incorporador de aire. La principal ventaja que estos polímeros presentan por sobre los agregados livianos es la mayor absorción que resulta en el uso de menores cantidades en el hormigón para incorporar el mismo volumen de agua de curado. Por otro lado, los polímeros súper absorbentes pueden

presentar problemas de segregación debido a su baja densidad (Jensen y Hansen, 2002). Otro problema es que su absorción en presencia de los materiales cementicios puede ser menor a la esperada incrementando la W/C en la mezcla. Lo anterior puede en parte explicar la reducción en resistencia a compresión de 19 % medida por Jensen y Hansen (2002) en sus mezclas cuando se utilizó polímeros súper absorbentes para curado interno.

Otros métodos como el uso de elementos orgánicos naturales de alta capacidad de absorción pueden ser otra forma de proveer el curado interno. Fibras de celulosa, como las utilizadas en la manufactura del papel, pueden proveer curado interno al mismo tiempo de servir de refuerzo para el hormigón (Mohr et al., 2005). La tierra diatomácea, compuesta de esqueletos de organismos unicelulares fosilizados, posee una alta absorción. Un potencial problema de estas últimas es que la demanda de agua para mantener una buena trabajabilidad puede aumentar debido a su forma angulada (Jensen y Lura, 2003).



Fuente: Robert Philleo 1991

Figura 5. Esquema que grafica el concepto de Curado Interno

NOTA: W/C es igual a relación agua/cemento (A/C).



2.2.8. Efectos del Curado Interno en la Resistencia a Compresión.

Weber y Reinhardt (1997) investigaron el curado interno una mezcla de hormigón de alta resistencia. La mezcla consideró una W/C de 0.3 y un 10 % de microsílica. Además, una fracción del agregado fino fue reemplazada por agregado liviano saturado de manera de aplicar un curado interno. Se comparó la resistencia de probetas sometidas a tres regímenes de curado: (a) selladas inmediatamente después de desmoldar, (b) mantenidas bajo condiciones de secado después de desmoldar, y (c) curadas inmersas en agua por 6 días después de desmoldar. Al cabo de un año las diferencias en resistencia a compresión fueron del orden del 3 % lo que demuestra que el efecto del curado externo no es significativo si se cuenta con un adecuado curado interno. López et al., (2006), compararon la resistencia entre dos hormigones livianos de alta resistencia, uno con curado interno y el otro sin.

Las mezclas consideraron una W/C de 0.23, cemento de alta resistencia temprana, microsílica y ceniza volante. Se consideró además dos tipos de agregado, arena silíceo como agregado fino y pizarra expandida como agregado liviano grueso. Con el objetivo de medir el efecto del curado interno, una de las mezclas utilizó el agregado liviano en condición saturada para proveer curado interno mientras que la otra utilizó el agregado en condición seca al aire. La mezcla que recibió el curado interno presentó una resistencia 1 y 12 % mayor que la mezcla sin curado interno para las edades de uno y 365 días, respectivamente. Esto quiere decir que a la edad de un día cuando las probetas fueron recién desmoldadas, la diferencia entre las dos mezclas fue despreciable, pero al cabo de un año las probetas que recibieron curado interno alcanzaron una resistencia a compresión considerablemente mayor.

2.2.9. Porosidad de los agregados.

Las características de los espacios porosos en los agregados han sido descritas entre las más importantes propiedades físicas del agregado. Su importancia es debida a su influencia sobre las otras propiedades físicas o químicas del agregado y a su control de durabilidad en congelación y deshielo. Las características de los poros determinan al volumen de agua que el agregado puede absorber, su velocidad de absorción, su facilidad de drenaje, su área superficial interna, y la porción de su volumen de masa que es ocupada por la metería sólida.

NOTA: W/C es igual a relación agua/cemento (A/C).



2.2.10. Grado de absorción de los Agregados.

Capacidad que tienen los agregados para llenar de agua los vacíos permeables de su estructura interna, al ser sumergidos durante 24 horas en ésta. La relación del incremento en peso al peso de la muestra seca, expresada en porcentaje, se denomina Porcentaje de Absorción.

Esta particularidad de los agregados, que dependen de la porosidad, es de suma importancia para realizar correcciones en las dosificaciones de mezclas de concreto.

A su vez, la absorción influye en otras propiedades del agregado, como la adherencia con el cemento, la estabilidad química, la resistencia a la abrasión y la resistencia del concreto al congelamiento y deshielo.

A menudo se considera que, los agregados absorben o ceden el agua en defecto o exceso para quedar saturados y superficialmente secos (S.S.S) antes de que el concreto llegue a fraguar, sin embargo, cuando se trabaja con agregados secos, los poros permeables se pueden obstruir, e impedir que se llegue a la saturación. Es aconsejable, por lo tanto, determinar el porcentaje de absorción entre los 10 y 30 primeros minutos, ya que la absorción total en la práctica nunca se cumple.

2.2.11. Saturación de los agregados.

Para entender este concepto, Rodolfo Jeria H. nos habla de la Higrometría de los agregados o áridos, explica que higrometría es la parte de la física que estudia y mide el nivel de humedad, en este caso, de los agregados. En su documento publicado también habla que, para entender cada estado higrométrico de los agregados, hay que entender como varía la densidad de los agregados dependiendo de la configuración de sus granos, para esto menciona 4 elementos en la configuración del grano:

-) **Grano**, son las partículas pétreas que conforman el agregado.
-) **Huecos**, son los espacios vacíos entre las partículas.
-) **Poros accesibles**, son los poros permeables o abiertos.
-) **Poros inaccesibles**, son los poros impermeables o cerrados.



Luego, teniendo claro todo lo explicado previamente, el autor ya nos define los estados higrométricos, de acuerdo al estado en el que se encuentre el agregado y al grado de saturación que alcancen sus poros inaccesibles y accesibles, en 4 estados:

) **Agregado en estado Seco:** Es el agregado secado hasta masa constante en horno a 110 ± 5 °C, de manera que se elimine totalmente el agua de sus poros (accesibles e inaccesibles).

En este estado, el agregado tiene su máxima capacidad de absorción y corresponde al estado en el cual se hacen la mayoría de los ensayos en laboratorio.

) **Agregado en estado Parcialmente Seco:** Agregado que ha estado expuesto a la humedad del ambiente y cuyas partículas o granos no tienen humedad superficial, pero en sus poros accesibles existe humedad parcial que no llega a saturarlos. En este estado los agregados tienen una capacidad intermedia de absorción. Es el estado en el que se encuentra la mayoría de los agregados gruesos en obra.

) **Agregado en estado Saturado Superficialmente Seco:** Agregado que tiene todos sus poros accesibles llenos de agua, pero no tiene humedad en la superficie. Este estado sólo se logra en laboratorio. Este estado se obtiene por un proceso controlado de laboratorio:

- a) Secado en horno hasta masa constante.
- b) Inmersión en agua por más de 24 horas.
- c) Secado superficial normalizado.

En este estado, el agregado no absorbe ni cede humedad.

) **Agregado en estado Húmedo:** Es el agregado cuyas partículas o granos tienen sus poros accesibles llenos de agua y además existe agua libre en su superficie y en los huecos. Este estado sólo se logra en laboratorio.

2.2.12. Agua de Mezclado

El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 339.088 y ser, de preferencia, potable. (Rivva, 2004, p. 56)



En todos aquellos casos en que la Supervisión desee comprobar la calidad del agua, el muestreo se efectuará de acuerdo a la Norma NTP 339.070. Los ensayos se efectuarán en un Laboratorio Oficial, autorizado o seleccionado por la supervisión, de acuerdo con la Norma NTP 339.088. (Rivva, 2004, p. 57).

Debe recordarse que no todas las aguas que son adecuadas para beber son convenientes para el mezclado y que, igualmente, no todas las aguas inadecuadas para beber con inconvenientes para preparar concreto. En general, el agua de mezclado deberá estar libre de sustancias colorantes, aceites y azúcares. (Rivva, 2000, p. 254)

La Norma Peruana NTP 339.088 considera aptas para la preparación y curado del concreto, aquellas aguas cuyas propiedades y contenidos de sustancias disueltas están comprendidas dentro de los siguientes límites: (Rivva, 2000, p. 255).

- a) El contenido máximo de materia orgánica, expresada en oxígeno consumido, será de 3 mg/l (3ppm).
- b) El contenido de residuo insoluble no será mayor de 5 g/l (5000 pm).
- c) El pH estará comprendido entre 5.5 y 8.0.
- d) El contenido de sulfatos, expresado como ion SO_4 , será menor de 0.6 g/l (600 ppm).
- e) El contenido de cloruros, expresado como ion Cl, será menor de 1 g/l (1000 ppm).
- f) El contenido de carbonatos y bicarbonatos alcalinos (alcalinidad total) expresada en $NaHCO_3$, será menor de 1 g/l (1000 ppm).
- g) Si la variación de color es un requisito que se desea controlar, el contenido máximo de fierro, expresado en ion férrico, será de 1 ppm.

• *Agua de lavado de agregados*

Es la utilizada durante el proceso de trituración, para retirar impurezas y exceso de finos presentes en los conglomerantes de los que provienen, así como las partículas muy finas formadas durante la trituración. Debe ser lo suficientemente limpia como para no introducir contaminación. (Sánchez, 1997, p. 60)

• *Agua de amasado o mezclado*

Juega un doble papel en el hormigón. Por un lado, participa en las reacciones de hidratación del cemento; por otro, confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra. (Jiménez, García y Morán, 2000, p. 27)



La norma ASTM C94 permite usar el agua de lavado que queda dentro de la mezcladora para la mezcla siguiente, siempre y cuando se pueda medir su cantidad con precisión. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1999, p. 34)

• *Agua de curado*

Durante el proceso de fraguado y primer endurecimiento del hormigón, tiene por objeto evitar la desecación, mejorar la hidratación del cemento e impedir una retracción prematura.

Tanto el agua de amasado como el agua de curado deben reunir ciertas condiciones para desempeñar eficazmente su función. En general, se debe ser más estricto en la aptitud de un agua para curado. (Jiménez, García y Morán, 2000, p. 27)

Tabla N° 7

Valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua a utilizarse en la preparación del concreto.

SUSTANCIAS DISUELTAS	VALOR MÁXIMO
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150
Sales solubles	1500 ppm
P.H.	Mayor de 7
Sólidos en suspensión (limos o arcillas)	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

Nota: Extraído de Abanto (2009)

Si en el concreto han de estar embebidos elementos de aluminio y/o fierro galvanizado, el contenido de cloruros indicado en la Tabla anterior, deberá disminuir a 50 ppm. (Rivva, 1992, p. 25)

El requerimiento de agua es mayor cuanto más angular y rugosos son los agregados usados, desventaja que se encuentra compensada por la mejor adherencia de la pasta de cemento a los mismos. El requerimiento de agua disminuye cuanto mayor es el TM del agregado usado bien gradado.



También disminuye el requerimiento de agua con la incorporación de aire y puede ser significativamente reducido por el uso de ciertos aditivos. (Abanto, 2009, p. 60).

De acuerdo a la relación agua-cemento empleada, el tiempo requerido para alcanzar segmentación de los poros capilares es el siguiente en una relación agua-cemento/tiempo: (Rivva, 2000, p. 80).

Tabla N° 8

Tiempo de segmentación de los poros capilares según Relación A/C

RELACIÓN AGUA/CEMENTO	TIEMPO DE SEGMENTACIÓN
0.40	3 días
0.45	7 días
0.50	14 días
0.60	60 meses
0.70	12 meses

Nota: Extraído de Rivva, 2000, p. 80

El agua utilizada tanto para la saturación de los agregados como para la elaboración de las mezclas de concreto y curado, es agua del servicio público de agua potable. El peso unitario del agua a usarse tiene como peso unitario 995.27 kg/m³.

2.2.13. Aire

Se sabe que en toda mezcla de concreto hay aire presente. Este puede estar en dos formas como aire atrapado o como aire incorporado (Rivva, 1992, p. 227)

• **Determinación del contenido de aire** (Rivva, 1992, p. 228)

- Primero se deben conocer los pesos de los materiales por m³ y los pesos específicos de masa de los agregados.
- Determinación de los volúmenes absolutos de los ingredientes (cemento, agua de diseño, agregado fino y grueso secos), dividiendo los valores de diseño entre sus pesos específicos respectivos.



- c) El contenido de *aire total* de la mezcla será la diferencia entre la unidad y la sumatoria de los volúmenes absolutos de los ingredientes libres de aire (Vingredientes).
- d) Se procederá luego a determinar el peso del m³ del concreto libre de aire, (cemento, agua de diseño, agregado fino y grueso secos), a fin de determinar el rendimiento de la mezcla o tanda (Rtanda) dividiendo dicho peso entre el peso unitario del concreto.
- e) Luego el porcentaje de *aire incorporado*, será:

$$A = \frac{R - V}{R} \times 100 \dots \dots \dots (A)$$

- f) Y el porcentaje de aire atrapado será:

$$A_t = A - A \dots \dots \dots (B)$$

2.3. Definición de Términos

2.3.1. Curado del Concreto

El curado del concreto alberga a todos aquellos procedimientos que promueven la hidratación del cemento; los que consisten en manejo del tiempo, de la temperatura y la humedad inmediatamente después de la colocación del hormigón. El curado es necesario no sólo para alcanzar la resistencia requerida sino para alcanzar el óptimo en todas las propiedades del hormigón (Mehta y Monteiro, 1993).

2.3.2. Saturación del Agregado

Para entender este concepto es necesario mencionar a la higrometría de los agregados o áridos. Higrometría es la parte de la física que estudia y mide el nivel de humedad, en este caso, de los agregados. Cada estado higrométrico de los agregados varía en función a la densidad de los agregados dependiendo de la configuración de sus granos (Rodolfo, 2004.).



2.3.3. Resistencia a la compresión del concreto

La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que se emplea para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de resistencia especificada. La resistencia a compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión y se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de Kg/Cm².

2.4. Hipótesis de Investigación

El método de curado interno usando agregados en su condición de saturados con humedad superficial en la elaboración de concreto incrementa la resistencia a compresión de diseño con respecto a la resistencia a compresión de diseño de elementos de concreto elaborados con mezcla patrón.

2.5. Variables de la Investigación

2.5.1. Variables independientes:

-) Curado del concreto
-) Saturación del agregado

2.5.2. Variables dependientes

-) Resistencia a la compresión del concreto



CAPÍTULO 3: MÉTODOS Y MATERIALES

En el presente capítulo se describe a detalle el método de la investigación, así como los materiales usados y sus características; asimismo se describe el procedimiento que se ha seguido desde el diseño de mezclas del concreto para elaboración de los especímenes cilíndricos, hasta el rompimiento de probetas y la obtención de resultados.

3.1. Método de investigación

3.1.1. Tipo de Investigación.

Cuantitativo, porque se usó la recolección de datos para probar la hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

3.1.2. Nivel de Investigación.

Explicativo, porque esta investigación va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da éste, o por qué dos o más variables están relacionadas (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

3.1.3. Diseño de Investigación

Experimental, porque se realizó una intervención para que los sujetos adquieran alguna característica en particular. Este diseño permite dividir la muestra en dos grupos: a uno se le asigna un tratamiento nuevo y al otro un tratamiento estándar. A este grupo se lo denomina grupo control, ya que la nueva intervención se comparará con él (Henquin, 2013).

3.1.4. Muestra y Unidad de Análisis

El espécimen de concreto o Probeta, que tiene forma cilíndrica, de dimensiones: 6” de diámetro por 12” de altura.

**Tabla N° 9****Cantidad de Especímenes elaborados con agregados saturados y con mezcla patrón**

		7 Días	14 Días	28 Días	PARCIAL	TOTAL
SIN CURADO	Especímenes con agregados saturados	06	06	07	19	41
	Especímenes de mezcla patrón	09	07	06	22	
CURADO POR ASPERSIÓN	Especímenes con agregados saturados	06	07	07	20	39
	Especímenes de mezcla patrón	06	06	07	19	
CURADO POR INMERSIÓN	Especímenes con agregados saturados	07	06	08	21	40
	Especímenes de mezcla patrón	06	07	06	19	
TOTAL		40	39	41	120	

		7 Días	14 Días	28 Días	PARCIAL	TOTAL
ESPECÍMENES CON MEZCLA PATRÓN	Sin curado	09	07	06	22	60
	Curado por aspersión	06	06	07	19	
	Curados por inmersión	06	07	06	19	
ESPECÍMENES CON AGREGADOS SATURADOS	Sin curado	06	06	07	19	60
	Curado por aspersión	06	07	07	20	
	Curados por inmersión	07	06	08	21	
TOTAL DE ESPECÍMENES CON MEZCLA PATRÓN					60	
TOTAL DE ESPECÍMENES CON AGREGADOS SATURADOS					60	

De la mezcla elaborada con agregados en su condición de saturados con humedad superficial se han separado tres grupos de especímenes, como se muestra en el cuadro, de acuerdo a las condiciones de curado a las que han sido sometidos: El primer grupo de 19 especímenes fueron expuestos a la intemperie y no se les proporcionó ningún tipo de curado externo luego de desencofrarlos, de este grupo, 6 especímenes se probaron a los 7 días, 6 se probaron a los 14 días, y 7 se probaron a los 28 días. El segundo grupo de 20 especímenes fueron curados por el método de aspersión; de este grupo, 6 especímenes se probaron a los 7 días, 7 se



probaron a los 14 días, y 7 especímenes se probaron a los 28 días. El tercer grupo de 21 especímenes fueron curados con el método de inmersión; de este grupo, 7 especímenes fueron probados a los 7 días, 6 fueron probados a los 14 días, y 8 especímenes fueron probados a los 28 días.

De la misma manera, de la mezcla patrón se han separado tres grupos de especímenes, como se muestra en el cuadro, de acuerdo a las condiciones de curado a las que han sido sometidos: El primer grupo de 22 especímenes fueron expuestos a la intemperie y no se les proporcionó ningún tipo de curado externo luego de desencofrarlos; de este grupo, 9 especímenes se probaron a los 7 días, 7 se probaron a los 14 días, y 6 se probaron a los 28 días. El segundo grupo de 19 especímenes fueron curados por el método de aspersión; de este grupo, 6 especímenes se probaron a los 7 días, 6 se probaron a los 14 días, y 7 especímenes se probaron a los 28 días. El tercer grupo de 19 especímenes fueron curados con el método de inmersión; de este grupo, 6 especímenes fueron probados a los 7 días, 7 fueron probados a los 14 días, y 6 especímenes fueron probados a los 28 días.

3.2. Materiales de la Investigación

Los materiales usados para la elaboración de concreto para esta investigación son agregado grueso, agregado fino, cemento y agua. A continuación, daremos a conocer su procedencia y características.

3.2.1. Agregados o áridos.

Los agregados seleccionados para la elaboración de concreto para esta investigación son arena de río como agregado fino y piedra de río chancada con TMN ½”.

3.2.2. Procedencia de los agregados (cantera).

- **Ubicación.** Se encuentra en la coordenadas UTM: 781423.80m ESTE, 9204839.17m NORTE, a una altitud aproximada de 2700 m.s.n.m.; con una orientación de S 69° E, con respecto a la ciudad de Cajamarca, en el fundo “La Victoria”, se halla constituida por material de río proveniente de los ríos Chonta y

Mashcón, entre ellos; agregado fino (arena) y agregado grueso (grava y hormigón).



Nota: Captura de pantalla de Google Earth

Figura 6. Fotografía aérea del emplazamiento de la Cantera la Victoria

- **Accesibilidad.** Para el transporte de materiales de la cantera existe una buena accesibilidad a través de la carretera Cajamarca – Jesús, encontrándose ésta al costado izquierdo de dicha carretera.
- **Tipo de Cantera.** La cantera “La Victoria” es a cielo abierto, de corte.
- **Identificación Geológica.** Esta cantera está constituida de material aluvial de origen fluvial, cuyos depósitos presentan cantos rodados que demuestran bastante erosión por transporte, los cuales se hallan formando terrazas fluviales discontinuas de aproximadamente 1.00 m de potencia.
- **Rocas.** El agregado fino (arena) presenta grano homogéneo, redondeado y se halla constituido principalmente de cuarzo, feldespatos (sanidina y ortosa), ferros magnesianos, arcilla oxidada, hornablenda, y, se halla perfectamente limpia, no contiene sustancias bituminosas. El agregado grueso (grava), litológicamente se encuentra constituida de fragmentos de rocas ígneas: tufos volcánicos; rocas sedimentarias: calizas, areniscas y arcillas ferruginosas, de textura porfirítica. Asimismo, presenta grano heterogéneo y forma redondeada.



3.3. Procedimiento de la investigación

3.3.1. Acopio de materiales y muestras

Los materiales fueron obtenidos de la cantera La Victoria, donde se hace el chancado de piedras de río para obtener gravas de diferentes diámetros, y fueron acopiados en el laboratorio de materiales de la UNC (ver Anexo A). El agregado fino contenía muchos finos (arcillas, limos), situación inadecuada para conseguir una saturación eficiente de los poros de las partículas de los agregados. Entonces antes de hacer los ensayos se procedió a lavar los agregados, hasta dejar la mínima cantidad de finos. También se lavó el agregado grueso. Posteriormente al lavado, se inició el proceso de secado, extendiendo los agregados en costales en exposición al sol y aire (ver Anexo A).

Una vez realizados los trabajos ya descritos, como el acopio de materiales, el lavado de agregados, el secado de agregados; y contando con toda la lista de los recursos y equipos (ver Anexo B), se procedió a realizar cada uno de los ensayos que se detallan a continuación, de acuerdo a la normativa vigente para cada ensayo.

3.3.2. Ensayos y pesos de agregados

Todos los ensayos se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Los ensayos realizados fueron:

- Ensayo de contenido de Humedad de los agregados: agregado fino y agregado grupo con tres repeticiones cada uno (Ver Anexo C)
- Ensayo de abundamiento de arena (Ver Anexo C)
- Ensayo granulométrico de agregado fino con tres repeticiones (ver Anexo C)
- Ensayo granulométrico de agregado grueso con tres repeticiones (ver Anexo C)
- Ensayo de materiales finos en los agregados fino y grueso (ver Anexo C)

También se calculó el peso específico y absorción de los materiales de agregados finos (ver Anexo D); asimismo se calculó el peso específico y absorción de los materiales de agregados gruesos (ver Anexo C). De otro lado se consideraron los pesos unitarios de los agregados (agua, agregado fino, agregado grueso) (ver Anexo C).



3.3.3. Diseño de la mezcla para concreto patrón

Aquí se consideraron las propiedades físicas de los agregados, cemento y agua, Los valores de estas propiedades se determinaron en los ensayos del ítem 3.3.2. El método de diseño de mezcla usado fue el Método de la combinación de agregados, el diseño de mezcla se hizo para un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Además se hizo la determinación del $F'cr$, tamaño máximo nominal, asentamiento, determinación del volumen unitario de agua, selección del contenido de aire, relación agua cemento, determinación del factor cemento, determinación del volumen absoluto de la pasta, volumen absoluto de agregados, cálculo del módulo de finura de la combinación de agregados, incidencia de agregados (fino y grueso), volúmenes absolutos de los agregados, pesos secos de los agregados, proporciones de diseño, correcciones de humedad de los agregados, agua efectiva, proporciones de diseño en peso y las proporciones para especímenes cilíndricos (en peso) (ver Anexo D).

3.3.4. Ajuste de las proporciones de la mezcla patrón

En esta sección se consideraron las propiedades del concreto fresco, pesos de la tanda de ensayo, rendimiento de la tanda de ensayo, agua de mezcla por tanda, agua de mezcla requerida, corrección del agua de mezclado, relación A/C y determinación del factor cemento. También se hizo la corrección por el método de los pesos, generando nuevos pesos secos de la tanda; se hizo la corrección por el método de volúmenes, considerando volúmenes absolutos y se ajustaron los pesos finales por metro cúbico (ver Anexo D).

3.3.5. Saturación de los agregados para mezcla diseño

Para la mezcla diseño se utilizaron agregados saturados y para ello se consideró el peso de los agregados y su saturación. Una vez pesados los agregados, fueron separados y cubiertos completamente por agua limpia, durante 72 horas (ver Anexo E). Pasado este tiempo se escurrió el agua en un tamiz y luego se determinó el contenido de humedad de los agregados (fino y grueso) saturados en tres repeticiones por agregado (ver Anexo E).

3.3.6. Diseño de la mezcla para concreto con agregados saturados

Aquí se consideraron las propiedades físicas de los agregados, cemento y agua, Los valores de estas propiedades se determinaron en los ensayos del ítem 3.3.2. El método de diseño de mezcla usado fue el Método de la combinación de agregados, el diseño de mezcla se hizo para un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Se hizo la determinación del $F'cr$, tamaño máximo nominal, asentamiento, determinación del volumen unitario de agua, selección del



contenido de aire, relación agua cemento, determinación del factor cemento, determinación del volumen absoluto de la pasta, volumen absoluto de agregados, cálculo del módulo de finura de la combinación de agregados, incidencia de agregados (fino y grueso), volúmenes absolutos de los agregados, pesos secos de los agregados, proporciones de diseño, correcciones de humedad de los agregados, agua efectiva, proporciones de diseño en peso y las proporciones para especímenes cilíndricos (en peso) (ver Anexo F).

3.3.7. Ajuste de las proporciones de la mezcla diseño

En esta sección se consideraron las propiedades del concreto fresco, pesos de la tanda de ensayo, rendimiento de la tanda de ensayo, agua de mezcla por tanda, agua de mezcla requerida, corrección en el agua de mezclado, relación A/C y determinación del factor cemento. También se hizo la corrección por el método de los pesos, generando nuevos pesos secos de la tanda; se hizo la corrección por el método de volúmenes, considerando volúmenes absolutos y se ajustaron los pesos finales por metro cúbico (ver Anexo F).

3.3.8. Procedimiento de elaboración de especímenes con la mezcla patrón

En primer lugar, se consultó la normativa correspondiente y se procedió al pesado de los materiales según la dosificación de materiales, determinados en el diseño de mezclas (proporción en pesos) (ver Anexo G).

En segundo lugar, se hizo la mezcla en seco de los agregados y el cemento. El mezclado se hizo manualmente, es decir los materiales secos se revolviaron hasta tener una mezcla homogénea. Se añadió el agua de diseño poco a poco hasta lograr una mezcla con la consistencia y trabajabilidad de diseño (ver Anexo G).

A continuación, para la mezcla patrón, se hizo la prueba del revenimiento siguiendo los pasos indicados en el procedimiento de la norma para la misma. Se midió un asentamiento de 3.5” (8.90cm) y se obtuvo el peso unitario del concreto fresco (ver Anexo H).

Luego, se procedió a elaborar los especímenes con la mezcla patrón, engrasando con aceite los moldes para evitar la adherencia del concreto (ver Anexo I). Al día siguiente se desmoldaron los especímenes y se expusieron a las tres condiciones de curado (ver Anexo I).



Una vez desmoldados los especímenes de la mezcla patrón se tomó toda la información física de cada espécimen de concreto (pesos y medidas) y posteriormente se procedió al ensayo de resistencia a compresión del concreto en la Máquina Universal de Compresión Axial. Los especímenes fueron probados a las edades de 7 días, 14 días y 28 días, en grupos de 21, 20 y 19 unidades respectivamente.

Cabe recalcar que los especímenes se encontraban en estado saturado superficialmente seco en el momento de la prueba (ver Anexo K).

3.3.9. Procedimiento de elaboración de especímenes con agregados saturados

Con respecto a la elaboración de la Mezcla de Diseño (con agregados saturados), los agregados, sumergidos en agua por 72 horas, fueron previamente sacados del agua y escurridos sobre un costal hasta que éste deje de dejar pasar agua del agregado, como se realizó para medir el contenido de humedad de los agregados saturados para el diseño de mezclas de la Mezcla de Diseño. El agregado escurrido se sacó del costal y se recogió en un recipiente para luego ser pesado. Una vez hecho este procedimiento se consideró el pesado de los materiales según la dosificación de los mismos, determinados en el diseño de mezclas (proporción en pesos) (ver Anexo K).

Luego se realizó el mezclado manual de los materiales componentes de la mezcla de diseño. (Ver Anexo K).

A continuación, para la mezcla de diseño, se hizo la prueba del revenimiento (ver Anexo L) siguiendo los pasos indicados en el procedimiento de la norma para la misma. Se midió un asentamiento de 3.6” (9.2cm) y se obtuvo el peso unitario del concreto fresco (ver Anexo L).

Se procedió a elaborar los especímenes con la mezcla de diseño, engrasando con aceite los moldes para evitar la adherencia del concreto, además se dieron algunos golpes con el combo de goma para acomodar el concreto dentro del molde (ver Anexo M). Con respecto al curado de los especímenes elaborados con agregados saturados, no se curaron convencionalmente, más bien se colocaron en tres condiciones diferentes:

-) A la intemperie o sin curado externo
-) Con curado externo, método de aspersion
-) Con curado externo, método de inmersión



Finalmente, los especímenes de la Mezcla de Diseño con agregados saturados se desmoldaron (ver Anexo M) y se probaron a las edades de 7 días, 14 días y 28 días, en grupos de 19, 20 y 21 unidades respectivamente; habiendo sido tomada previamente toda la información física de cada espécimen de concreto (pesos y medidas). Los especímenes se encontraban en estado saturado superficialmente seco en el momento de la prueba en la Máquina Universal de Compresión Axial (Ver Anexo N).

3.4. Tratamiento y análisis de datos

3.4.1. Programas de cómputo

Se hizo uso del TEST ANOVA, que consiste en comparar las varianzas entre los resultados de los tratamientos. Dado que se tendrá casos bien diferenciados, ya que habrá probetas elaboradas convencionalmente y probetas elaboradas con agregados saturados que darán buenos resultados, las diferencias entre todos los casos serán relevantes. La dificultad está en estimar entre los dos grupos de especímenes cuál de ellos logra mayor resistencia a compresión.

Todos los ensayos y pruebas realizadas en laboratorio se harán de acuerdo a la normatividad vigente:

a) Normas ASTM

C-136. Análisis Granulométrico de agregado fino grueso.

C-29. Peso Unitario de agregado fino.

C-33. Módulo de finura.

C-127. Ensayos de Peso Específico y porcentaje de absorción de agregado grueso.

C-128. Ensayo para peso específico y porcentaje de absorción de agregado fino.

C-138. Peso Unitario (Granulométrico), rendimiento y contenido de aire del concreto.

C-70. Humedad superficial en el agregado grueso.

C-566. Ensayos de contenido de humedad total' agregado por seco.

C-1157 Cemento Adicionado Tipo MS-Pacasmayo y Tipo I.

C-192 Preparación y curado en el laboratorio para ensayos de compresión y flexión del concreto.

C-172 Muestreo del Concreto fresco.

C-39 Resistencia a la compresión de cilindros moldeados de concreto.



b) Reglamento Nacional De Edificaciones.

Requisitos para materiales y procedimientos de construcción. - Título VII.- Capítulo II.- Materiales. - Descripción y función.

Anexo N° 12 del título VIII, Concreto Ciclópeo y Armado, Capítulo III - Definiciones.

Parte II Especificaciones y ensayos de materiales.

Capítulo IV. Materiales.

Parte III Requisitos de construcción. Capítulo V, calidad del concreto.

3.4.2. Fichaje de Información

Utilizada para organizar la información de interés durante la investigación, facilitando el procesamiento de la misma.



CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de Resultados

4.1.1. Datos obtenidos en los ensayos - Mezcla Patrón

Tabla N° 10: Registro y control de rompimiento de especímenes de concreto elaborados con Mezcla Patrón.

ESPECÍMENES SIN CURADO EXTERNO (A LA INTERPERIE).

CÓDIGO DE ESPECIMEN	DIAMETRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	PESO (kg)				PESO UNITARIO	EDAD DE ROTURA	CARGA DE ROTURA (kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	PORCENTAJE
	D 1	D 2	D PROM				C° FRESCO	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS					
PJC120416-1	15.325	15.225	15.275	30.480	183.254	5585.567	12.66		12.550		2.247	14	20000	109.138	51.971%
PJC120416-2	15.225	15.165	15.195	30.480	181.339	5527.214	12.77		12.665		2.291	14	27500	151.650	72.214%
PJC120416-3	15.200	15.200	15.200	30.480	181.458	5530.852	12.68		12.550		2.269	14	29500	162.572	77.415%
PJC120416-4	15.225	15.250	15.238	30.480	182.355	5558.176	12.70		12.570		2.262	14	27000	148.063	70.506%
PJC120416-5	15.225	15.275	15.250	30.480	182.654	5567.299	12.72		12.615		2.266	14	26000	142.346	67.784%
PJC120416-6	15.310	15.300	15.305	30.480	183.974	5607.529	12.65		12.530		2.234	14	26500	144.042	68.591%
PJC120416-7	15.225	15.175	15.200	30.480	181.458	5530.852	12.30			12.180	2.202	28	38500	212.170	101.033%
PJC120416-8	15.275	15.275	15.275	30.480	183.254	5585.567	12.43			12.312	2.204	28	36500	199.178	94.846%
PJC120416-9	15.225	15.200	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.46			12.336	2.227	28	38000	209.070	99.557%
PJC120416-10	15.200	15.325	15.263	30.480	182.954	5576.429	12.44			12.326	2.210	28	38000	207.703	98.906%
PJC120416-11	15.250	15.250	15.250	30.480	182.654	5567.299	12.41			12.302	2.210	28	39000	213.518	101.675%
PJC120416-12	15.200	15.175	15.188	30.480	181.160	5521.759	12.40			12.270	2.222	28	38000	209.759	99.885%
PJC120416-13	15.225	15.230	15.228	30.480	182.116	5550.883	12.50	12.420			2.237	7	18500	101.584	48.373%
PJC120416-14	15.220	15.250	15.235	30.480	182.295	5556.352	12.53	12.440			2.239	7	17000	93.255	44.407%
PJC120416-15	15.260	15.225	15.243	30.480	182.475	5561.824	12.61	12.515			2.250	7	15500	84.943	40.449%
PJC120416-16	16.100	16.250	16.175	30.480	205.484	6263.159	14.35	14.260			2.277	7	29000	141.130	67.205%
PJC120416-17	15.900	16.250	16.075	30.480	202.951	6185.956	14.25	14.150			2.287	7	25000	123.182	58.658%
PJC120416-18	16.100	16.075	16.088	30.480	203.267	6195.580	14.37	14.290			2.306	7	26500	130.370	62.081%
PJC120416-19	16.150	16.300	16.225	30.480	206.757	6301.940	14.42	14.320			2.272	7	27000	130.588	62.185%

Nota: elaboración propia. La tabla continúa en la siguiente página



ESPECÍMENES CON CURADO EXTERNO (POR ASPERSIÓN)

CÓDIGO DE ESPECIMEN	DIAMETRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	PESO (kg)				PESO UNITARIO	EDAD DE ROTURA	CARGA DE ROTURA (kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	PORCENTAJE
	D 1	D 2	D PROM				C° FRESCO	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS					
PJC140416-20	15.250	15.175	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.31	12.200			2.202	7	13000	71.524	34.059%
PJC140416-21	15.150	15.225	15.188	30.480	181.160	5521.759	12.18	12.070			2.186	7	12000	66.240	31.543%
PJC140416-22	15.275	15.250	15.263	30.480	182.954	5576.429	12.36	12.245			2.196	7	11000	60.124	28.631%
PJC140416-23	15.215	15.225	15.220	30.480	181.936	5545.416	12.25	12.154			2.192	7	14000	76.950	36.643%
PJC140416-24	15.225	15.220	15.223	30.480	181.996	5547.238	12.23	12.123			2.185	7	12500	68.683	32.706%
PJC140416-25	15.200	15.230	15.215	30.480	181.817	5541.773	12.18	12.098			2.183	7	12000	66.001	31.429%
PJC140416-26	15.300	15.120	15.210	30.480	181.697	5538.132	12.06		11.952		2.158	14	17500	96.314	45.864%
PJC140416-27	15.200	15.300	15.250	30.480	182.654	5567.299	12.05		11.942		2.145	14	16500	90.335	43.017%
PJC140416-28	15.320	15.150	15.235	30.480	182.295	5556.352	12.14		12.025		2.164	14	17000	93.255	44.407%
PJC140416-29	15.225	15.200	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.09		11.987		2.164	14	17500	96.282	45.849%
PJC140416-30	15.175	15.240	15.208	30.480	181.638	5536.311	12.12		12.004		2.168	14	16500	90.840	43.257%
PJC140416-31	15.200	15.200	15.200	30.480	181.458	5530.852	12.08		11.967		2.164	14	18000	99.196	47.236%
PJC140416-32	15.200	15.275	15.238	30.480	182.355	5558.176	12.08		11.985		2.156	14	18500	101.451	48.310%
PJC140416-33	15.225	15.185	15.205	30.480	181.578	5534.491	12.05			11.925	2.155	28	28000	154.204	73.430%
PJC140416-34	15.230	15.275	15.253	30.480	182.714	5569.124	12.07			11.965	2.148	28	29500	161.454	76.883%
PJC140416-35	15.175	15.250	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.14			12.025	2.171	28	29000	159.554	75.978%
PJC140416-36	15.240	15.205	15.223	30.480	181.996	5547.238	12.02			11.899	2.145	28	30000	164.839	78.495%
PJC140416-37	15.220	15.275	15.248	30.480	182.594	5565.474	12.05			11.935	2.144	28	28500	156.084	74.326%
PJC140416-38	15.245	15.220	15.233	30.480	182.235	5554.529	12.09			11.976	2.156	28	28500	156.391	74.472%

Nota: elaboración propia. La tabla continúa en la siguiente página



ESPECÍMENES CON CURADO EXTERNO (POR INMERSIÓN).

CÓDIGO DE ESPECIMEN	DIAMETRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	PESO (kg)				PESO UNITARIO	EDAD DE ROTURA	CARGA DE ROTURA (kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	PORCENTAJE
	D 1	D 2	D PROM				C° FRESCO	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS					
PJC160416-39	15.275	15.200	15.238	30.480	182.355	5558.176	12.45	12.356			2.223	7	25000	137.095	65.283%
PJC160416-40	15.185	15.250	15.218	30.480	181.876	5543.595	12.43	12.328			2.224	7	27500	151.202	72.001%
PJC160416-41	15.200	15.240	15.220	30.480	181.936	5545.416	12.51	12.402			2.236	7	25000	137.411	65.434%
PJC160416-42	15.240	15.200	15.220	30.480	181.936	5545.416	12.40	12.316			2.221	7	25500	140.159	66.742%
PJC160416-43	15.240	15.240	15.240	30.480	182.415	5560.000	12.45	12.348			2.221	7	26000	142.532	67.873%
PJC160416-44	15.150	15.250	15.200	30.480	181.458	5530.852	12.42	12.313			2.226	7	27000	148.794	70.854%
PJC160416-45	15.230	15.200	15.215	30.480	181.817	5541.773	12.40	12.298			2.219	7	24500	134.751	64.167%
PJC160416-46	15.240	15.185	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.39	12.287			2.218	7	25500	140.297	66.808%
PJC160416-47	15.275	15.220	15.248	30.480	182.594	5565.474	12.42		12.312		2.212	14	34500	188.943	89.973%
PJC160416-48	15.225	15.200	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.40		12.289		2.218	14	33000	181.561	86.458%
PJC160416-49	15.200	15.200	15.200	30.480	181.458	5530.852	12.41		12.305		2.225	14	33500	184.615	87.912%
PJC160416-50	15.275	15.220	15.248	30.480	182.594	5565.474	12.47		12.367		2.222	14	33500	183.467	87.365%
PJC160416-51	15.220	15.220	15.220	30.480	181.936	5545.416	12.51		12.389		2.234	14	33000	181.382	86.372%
PJC160416-52	15.240	15.200	15.220	30.480	181.936	5545.416	12.46		12.349		2.227	14	35000	192.375	91.607%
PJC160416-53	15.260	15.275	15.268	30.480	183.074	5580.084	12.39		12.277		2.200	14	34000	185.718	88.437%
PJC160416-54	15.220	15.240	15.230	30.480	182.175	5552.706	12.43			12.301	2.215	25	39000	214.079	101.943%
PJC160416-55	15.230	15.250	15.240	30.480	182.415	5560.000	12.41			12.286	2.210	25	39500	216.540	103.114%
PJC160416-56	15.200	15.225	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.50			12.378	2.234	25	37500	206.319	98.247%
PJC160416-57	15.175	15.275	15.225	30.480	182.056	5549.060	12.49			12.364	2.228	25	38000	208.727	99.394%
PJC160416-58	15.180	15.225	15.203	30.480	181.518	5532.671	12.53			12.400	2.241	25	39500	217.609	103.623%
PJC160416-59	15.190	15.240	15.215	30.480	181.817	5541.773	12.42			12.299	2.219	25	36000	198.002	94.286%
PJC160416-60	15.200	15.265	15.233	30.480	182.235	5554.529	12.50			12.364	2.226	25	39000	214.009	101.909%

Nota: elaboración propia.



Tabla N° 11: Registro y control de rompimiento de especímenes de concreto elaborados con Agregados en su condición de saturados con humedad superficial.

ESPECÍMENES SIN CURADO EXTERNO (A LA INTEMPERIE).

CÓDIGO DE ESPECIMEN	DIAMETRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	PESO (kg)				PESO UNITARIO	EDAD DE ROTURA	CARGA DE ROTURA (kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	PORCENTAJE
	D 1	D 2	D PROM				C° FRESCO	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS					
DJC130416-1	15.200	15.150	15.175	30.480	180.862	5512.673	12.26	12.130			2.200	7	17000	123.994	59.045%
DJC130416-2	15.200	15.200	15.200	30.480	181.458	5530.852	12.32	12.208			2.207	7	17500	126.441	60.210%
DJC130416-3	15.150	15.275	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.32		12.190		2.200	14	24000	162.044	77.164%
DJC130416-4	15.225	15.275	15.250	30.480	182.654	5567.299	12.21		12.090		2.172	14	19500	136.759	65.123%
DJC130416-5	15.150	15.250	15.200	30.480	181.458	5530.852	12.22			12.080	2.184	28	35500	215.637	102.684%
DJC130416-6	15.400	15.200	15.300	30.480	183.854	5603.866	12.2			12.064	2.153	28	35000	210.369	100.176%
DJC130416-7	15.300	15.175	15.238	30.480	182.355	5558.176	12.23	12.116			2.180	7	16000	107.741	51.305%
DJC130416-8	15.000	15.200	15.100	30.480	179.079	5458.317	12.08	11.950			2.189	7	15500	106.554	50.740%
DJC130416-9	16.150	16.050	16.100	30.480	203.583	6205.212	13.82		13.690		2.206	14	22000	138.064	65.745%
DJC130416-10	15.225	15.275	15.250	30.480	182.654	5567.299	12.22		12.095		2.173	14	25000	166.871	79.462%
DJC130416-11	15.200	15.225	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.26			12.122	2.188	28	36000	218.067	103.841%
DJC130416-12	15.175	15.150	15.163	30.480	180.564	5503.595	12.21			12.076	2.194	28	37500	227.682	108.420%
DJC130416-13	16.200	16.100	16.150	30.480	204.850	6243.813	14.02	13.900			2.226	7	19000	122.751	58.453%
DJC130416-14	16.250	16.100	16.175	30.480	205.484	6263.159	13.98	13.864			2.214	7	19000	122.465	58.316%
DJC130416-15	15.250	15.200	15.225	30.480	182.056	5549.060	12.43		12.300		2.217	14	22000	150.842	71.830%
DJC130416-16	15.225	15.200	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.19		12.160		2.195	14	20000	140.037	66.684%
DJC130416-17	15.175	15.175	15.175	30.480	180.862	5512.673	12.27			12.138	2.202	28	36000	219.047	104.308%
DJC130416-18	15.200	15.250	15.225	30.480	182.056	5549.060	12.37			12.244	2.206	28	35000	212.249	101.071%
DJC130416-19	15.200	15.300	15.250	30.480	182.654	5567.299	12.43			12.294	2.208	28	34500	208.882	99.467%

Nota: elaboración propia. La tabla continúa en la siguiente página



ESPECÍMENES CON CURADO EXTERNO (POR ASPERSIÓN).

CÓDIGO DE ESPECIMEN	DIAMETRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	PESO (kg)				PESO UNITARIO	EDAD DE ROTURA	CARGA DE ROTURA (kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	PORCENTAJE
	D 1	D 2	D PROM				° FRESCO	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS					
DJC150416-20	15.200	15.225	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.44	12.365			2.232	7	28500	156.803	74.668%
DJC150416-21	15.225	15.225	15.225	30.480	182.056	5549.060	12.58	12.500			2.253	7	27000	148.306	70.622%
DJC150416-22	15.185	15.225	15.205	30.480	181.578	5534.491	12.41	12.340			2.230	7	31500	173.479	82.609%
DJC150416-23	15.175	15.200	15.188	30.480	181.160	5521.759	12.45	12.384			2.243	7	29500	162.839	77.543%
DJC150416-24	15.200	15.175	15.188	30.480	181.160	5521.759	12.5	12.425			2.250	7	28500	157.319	74.914%
DJC150416-25	15.225	15.225	15.225	30.480	182.056	5549.060	12.46	12.385			2.232	7	27500	151.053	71.930%
DJC150416-26	15.200	15.225	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.45		12.366		2.232	14	37000	203.569	96.937%
DJC150416-27	15.280	15.200	15.240	30.480	182.415	5560.000	12.49		12.402		2.231	14	39000	213.799	101.809%
DJC150416-28	15.300	15.150	15.225	30.480	182.056	5549.060	12.43		12.345		2.225	14	36500	200.488	95.470%
DJC150416-29	15.300	15.180	15.240	30.480	182.415	5560.000	12.38		12.298		2.212	14	37500	205.576	97.893%
DJC150416-30	15.180	15.400	15.290	30.480	183.614	5596.543	12.44		12.351		2.207	14	35500	193.341	92.067%
DJC150416-31	15.225	15.200	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.45		12.367		2.232	14	36000	198.067	94.317%
DJC150416-32	15.200	15.250	15.225	30.480	182.056	5549.060	12.45			12.358	2.227	28	42000	230.699	109.856%
DJC150416-33	15.185	15.250	15.218	30.480	181.876	5543.595	12.47			12.364	2.230	28	43500	239.173	113.892%
DJC150416-34	15.200	15.220	15.210	30.480	181.697	5538.132	12.45			12.359	2.232	28	42000	231.154	110.073%
DJC150416-35	15.225	15.175	15.200	30.480	181.458	5530.852	12.44			12.357	2.234	28	44000	242.480	115.467%
DJC150416-36	15.240	15.200	15.220	30.480	181.936	5545.416	12.44			12.354	2.228	28	42500	233.598	111.237%
DJC150416-37	15.200	15.225	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.47			12.362	2.231	28	42000	231.078	110.037%
DJC150416-38	15.120	15.275	15.198	30.480	181.399	5529.033	12.47			12.378	2.239	28	43500	239.803	114.192%

Nota: elaboración propia. La tabla continúa en la siguiente página



ESPECÍMENES CON CURADO EXTERNO (POR INMERSIÓN).

CÓDIGO DE ESPECIMEN	DIAMETRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	PESO (kg)				PESO UNITARIO	EDAD DE ROTURA	CARGA DE ROTURA (kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	PORCENTAJE
	D 1	D 2	D PROM				C° FRESCO	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS					
DJC170416-39	15.150	15.225	15.188	30.480	181.160	5521.759	12.46	12.423			2.250	7	29000	160.079	76.228%
DJC170416-40	15.100	15.275	15.188	30.480	181.160	5521.759	12.49	12.459			2.256	7	29000	160.079	76.228%
DJC170416-41	15.250	15.275	15.263	30.480	182.954	5576.429	12.55	12.501			2.242	7	28500	155.777	74.180%
DJC170416-42	15.200	15.250	15.225	30.480	182.056	5549.060	12.47	12.426			2.239	7	31000	170.277	81.085%
DJC170416-43	15.200	15.275	15.238	30.480	182.355	5558.176	12.44	12.392			2.230	7	27000	148.063	70.506%
DJC170416-44	15.175	15.200	15.188	30.480	181.160	5521.759	12.43	12.391			2.244	7	28000	154.559	73.600%
DJC170416-45	15.225	15.200	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.52	12.483			2.253	7	29500	162.305	77.288%
DJC170416-46	15.250	15.225	15.238	30.480	182.355	5558.176	12.48		12.435		2.237	14	37500	205.643	97.925%
DJC170416-47	15.180	15.275	15.228	30.480	182.116	5550.883	12.49		12.444		2.242	14	35000	192.186	91.517%
DJC170416-48	15.100	15.325	15.213	30.480	181.757	5539.952	12.53		12.481		2.253	14	37000	203.569	96.937%
DJC170416-49	15.300	15.200	15.250	30.480	182.654	5567.299	12.44		12.396		2.227	14	3500	19.162	9.125%
DJC170416-50	15.280	15.225	15.253	30.480	182.714	5569.124	12.54		12.504		2.245	14	35000	191.556	91.217%
DJC170416-51	15.220	15.200	15.210	30.480	181.697	5538.132	12.49		12.437		2.246	14	37000	203.635	96.969%
DJC170416-52	15.240	15.240	15.240	30.480	182.415	5560.000	12.56		12.513		2.251	14	36000	197.353	93.977%
DJC170416-53	15.235	15.220	15.228	30.480	182.116	5550.883	12.47			12.426	2.239	25	44500	244.350	116.357%
DJC170416-54	15.200	15.250	15.225	30.480	182.056	5549.060	12.44			12.391	2.233	25	43000	236.191	112.472%
DJC170416-55	15.180	15.235	15.208	30.480	181.638	5536.311	12.46			12.411	2.242	25	44000	242.241	115.353%
DJC170416-56	15.275	15.225	15.250	30.480	182.654	5567.299	12.52			12.465	2.239	25	40000	218.993	104.282%
DJC170416-57	15.325	15.175	15.250	30.480	182.654	5567.299	12.48			12.422	2.231	25	43000	235.418	112.104%
DJC170416-58	15.200	15.220	15.210	30.480	181.697	5538.132	12.53			12.477	2.253	25	42500	233.906	111.384%
DJC170416-59	15.150	15.225	15.188	30.480	181.160	5521.759	12.53			12.369	2.240	25	44500	245.639	116.971%
DJC170416-60	15.125	15.200	15.163	30.480	180.564	5503.595	12.56			12.495	2.270	25	44000	243.681	116.038%

Nota: elaboración propia.



Tabla N° 12

Resumen de la prueba de resistencia a compresión por edades de la Mezcla Patrón

MEZCLA PATRÓN								
7 DÍAS			14 DÍAS			28 DÍAS		
Sin curado	Aspersión	Inmersión	Sin curado	Aspersión	Inmersión	Sin curado	Aspersión	Inmersión
76.589	132.233	144.019	95.382	142.969	185.437	158.754	205.537	214.654

Nota: elaboración propia

En la tabla N° 12 se presenta el resumen de la prueba de resistencia a compresión de los especímenes, por edades y condiciones de curado; pero el resultado completo de las pruebas de la mezcla patrón se puede apreciar en el Anexo N. Como se puede observar, en la tabla el promedio de la resistencia de los especímenes de la edad de 7, 14 y 28 días curados por inmersión es de 144.019 KG/CM2; 185.437 KG/CM2; y 214.654 KG/CM2; respectivamente; indicando que se alcanzó mayor resistencia con este método de curado que con los otros dos (sin curado, y por aspersión)

Tabla N° 13

Resumen de la prueba de resistencia a compresión por edades de la Mezcla usando agregados en su condición de saturados con humedad superficial.

MEZCLA DISEÑO								
7 DÍAS			14 DÍAS			28 DÍAS		
Sin curado	Aspersión	Inmersión	Sin curado	Aspersión	Inmersión	Sin curado	Aspersión	Inmersión
118.324	158.299	158.734	149.1029	197.937	202.473	215.99	235.426	237.552

Nota: elaboración propia

En la tabla N° 13 se presenta el resumen de la prueba de resistencia a compresión de los especímenes, por edades y condiciones de curado. Como se puede observar, en la tabla el promedio de la resistencia de los especímenes de la edad de 7, 14 y 28 días curados por inmersión es de 158.73 KG/CM2; 202.47 KG/CM2; y 237.55.654 KG/CM2; respectivamente; indicando que se alcanzó mayor resistencia con este método de curado que en los otros dos (sin curado, y por aspersión). El resultado completo de las pruebas de la mezcla de diseño se puede apreciar en el Anexo N.

**Tabla N° 14****Resistencia a compresión de la Mezcla Patrón y Mezcla de Diseño según las 3 Condiciones de curado: sin curado, por aspersion y por inmersión.**

SIN CURADO (A LA INTEMPERIE)			
	7 días	14 días	28 días
Mezcla Patrón	76.589	95.382	158.754
Mezcla Diseño	118.324	149.1029	215.99

CON CURADO (POR ASPERSIÓN)			
	7 días	14 días	28 días
Mezcla Patrón	132.233	142.969	205.537
Mezcla Diseño	158.299	197.937	235.426

CON CURADO (PÓR INMERSIÓN)			
	7 días	14 días	28 días
Mezcla Patrón	144.019	185.437	214.654
Mezcla Diseño	158.734	202.473	237.552

Nota: elaboración propia

En la tabla N° 14 se puede apreciar la comparación de los resultados de la prueba de resistencia a compresión, donde la resistencia de los especímenes sin curado, por aspersion y por inmersión de la mezcla patrón es menor que la resistencia de los especímenes con mezcla diseño, en la edad de 7, 14 y 28 días. El análisis de esta primera comparación muestra un panorama bastante alentador para la mezcla diseño, puesto que indica un mayor desempeño del concreto en las tres edades (7,14 y 28 días).

4.1.2. Resultados de los ensayos realizados a los especímenes elaborados con la mezcla patrón

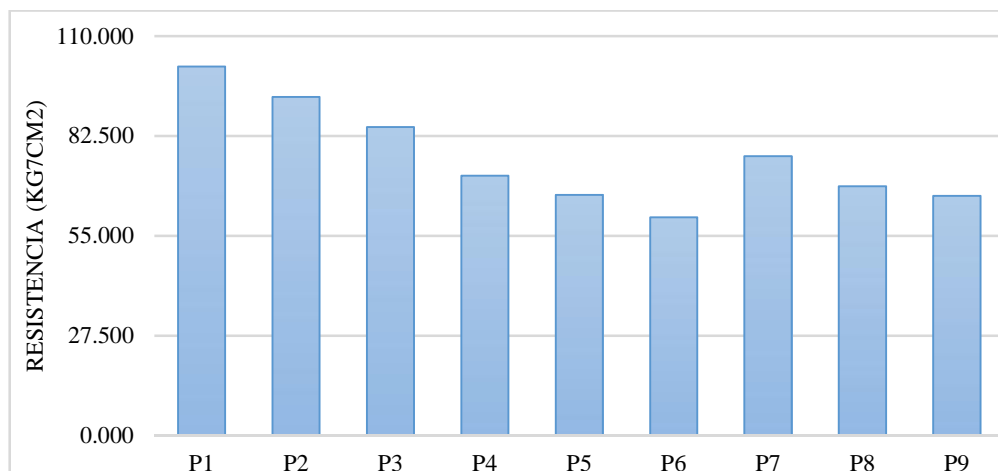
4.1.2.1. Especímenes ensayados a los 7 días

Tabla N° 15

Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 7 días - Mezcla Patrón

N° Especímenes	9	UNIDAD
Media	76,5893	KG/CM2
Mediana	71,5240	KG/CM2
Desviación Estándar	13,92340	
Mínimo	60,12	KG/CM2
Máximo	101,58	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

Figura 7. Resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 7 días - Mezcla Patrón

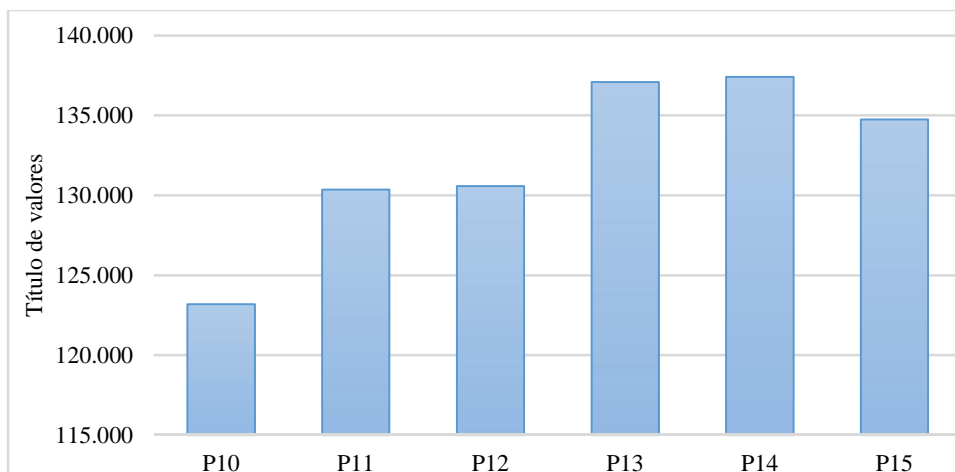
En la tabla N° 15 y la figura 7 se observa que la resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 7 días, alcanzó una media de 76,5893 KG/CM2, con una desviación estándar de 13,92340; siendo el P6 el que alcanzó el valor mínimo de 60,12 KG/CM2 y el P1, el valor máximo de 101,58 KG/CM2.

Tabla N° 16

Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probados a los 7 días - Mezcla Patrón

N° Especímenes	6	UNIDAD
Media	132,2328	KG/CM2
Mediana	132,6695	KG/CM2
Desviación Estándar	5,38309	
Mínimo	123,18	KG/CM2
Máximo	137,41	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

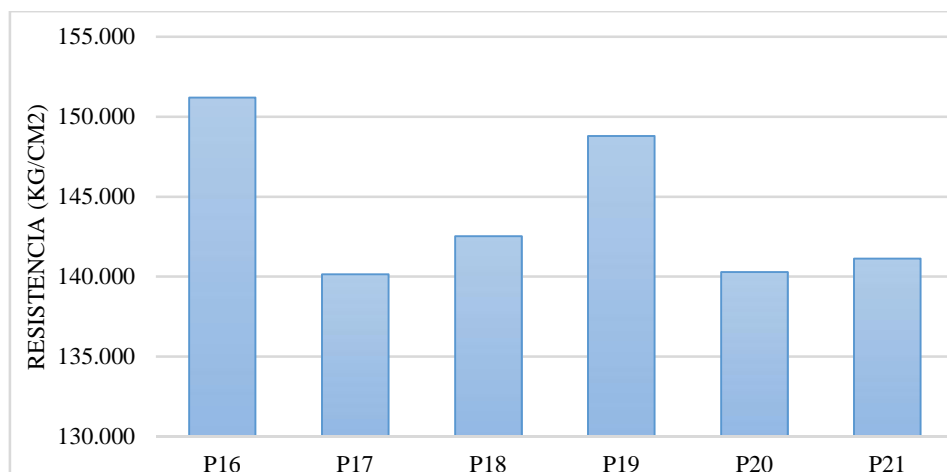
Figura 8. Resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probados a los 7 días - Mezcla Patrón

En la tabla N° 16 y la figura 8 se observa que se evaluaron 6 especímenes y se encontró que la resistencia a compresión de los mismos, curados por aspersión, alcanzó a los 7 días una resistencia media de 132,2328 KG/CM2, con una desviación estándar de 5,38309. En estos resultados se aprecia que el P10 presentó el valor mínimo de resistencia (123,18 KG/CM2) y el P14 alcanzó el valor máximo de 137,41KG/CM2.

Tabla N° 17**Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión y probados a los 7 días - Mezcla Patrón**

N° Especímenes	6	UNIDAD
Media	144,0190	KG/CM2
Mediana	141,8310	KG/CM2
Desviación Estándar	4,76878	
Mínimo	140,16	KG/CM2
Máximo	151,20	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

Figura 9. Resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 7 días - Mezcla Patrón

En la tabla N° 17 y la figura 9 se observa que se evaluaron 6 especímenes y se encontró que la resistencia a compresión de los mismos, curados por inmersión, alcanzó una resistencia media de 144,0190 KG/CM2, con una desviación estándar de 4,76878. En estos resultados se aprecia que el P17 presentó el valor mínimo de resistencia, siendo esta de 140,16 KG/CM2 y el P16 alcanzó el valor máximo, muy por encima de los demás, con 151,20 KG/CM2.

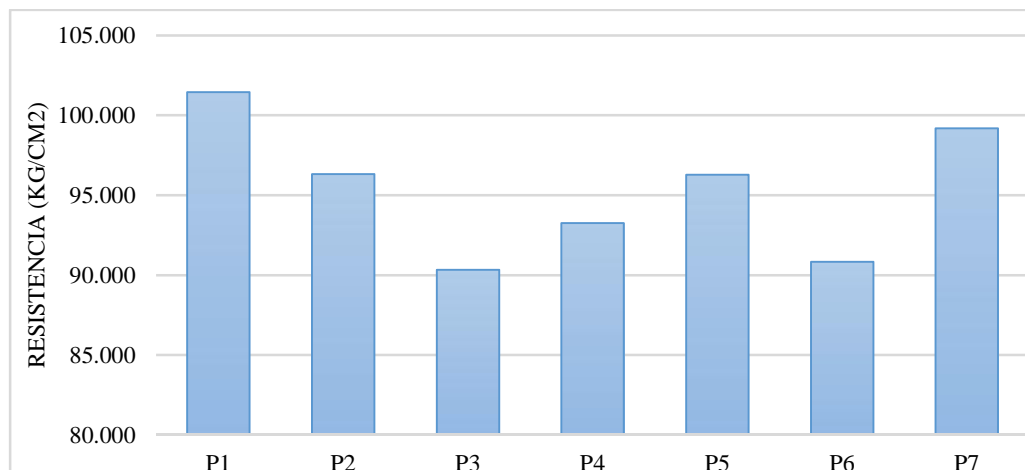
4.1.2.2. Especímenes ensayados a los 14 días

Tabla N° 18

Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 14 días - Mezcla Patrón

N° Especímenes	7	UNIDAD
Media	95,3819	KG/CM2
Mediana	96,2820	KG/CM2
Desviación Estándar	4,15700	
Mínimo	90,34	KG/CM2
Máximo	101,45	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

Figura 10. Resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 14 días - Mezcla Patrón.

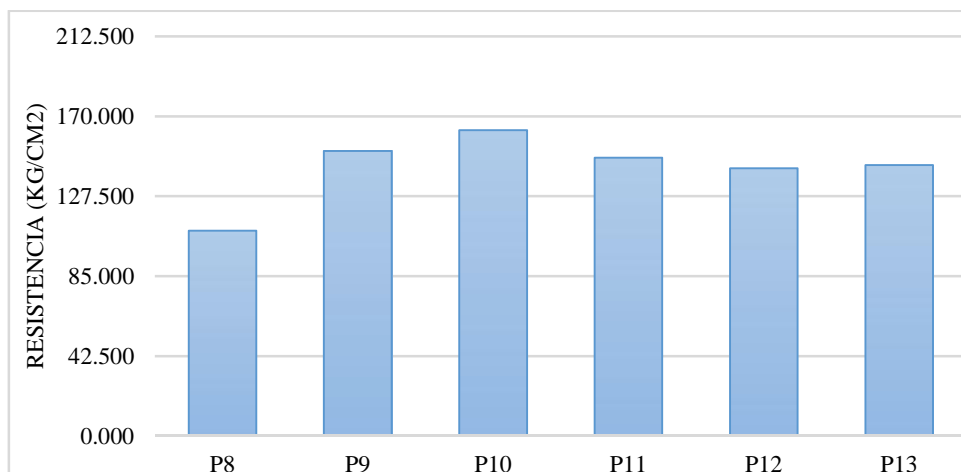
En la tabla N° 18 y la figura 10 se observa que la resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 14 días alcanzó una resistencia media de 95,3819 KG/CM2, con una desviación estándar de 4,15700; habiendo sido 7 los especímenes puestos a prueba, el P3 fue el que alcanzó el valor mínimo de 90,34 KG/CM2 y el P1, el valor máximo de 101,45 KG/CM2, que es casi el mismo valor que el espécimen en la misma condición de curado con edad de 7 días.

Tabla N° 19

Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, curados a los 14 días - Mezcla Patrón.

N° Especímenes	6	UNIDAD
Media	142,9685	KG/CM2
Mediana	146,0525	KG/CM2
Desviación Estándar	18,06467	
Mínimo	109,14	KG/CM2
Maximo	162,57	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

Figura 11. Resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión y probados a los 14 días - Mezcla Patrón

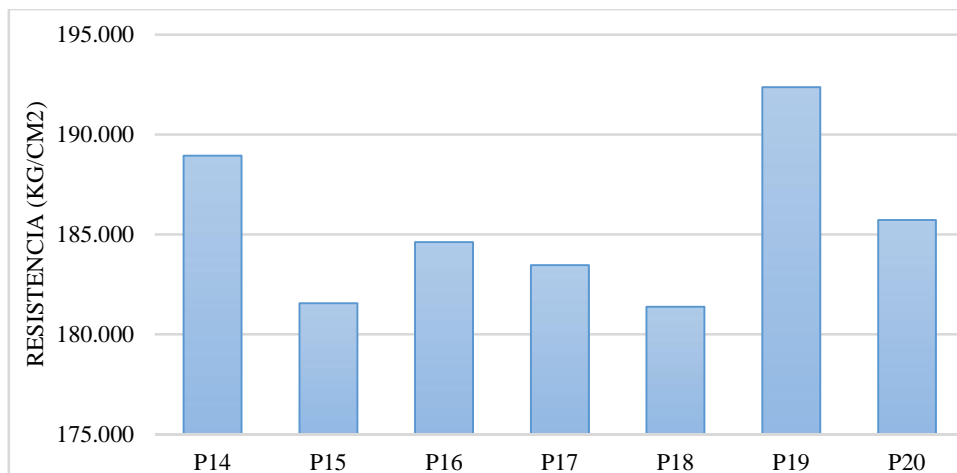
En la tabla N° 19 y la figura 11 se puede apreciar que la resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión y probados a los 14 días, alcanzó una resistencia media de 142,9685 KG/CM2, con una desviación estándar de 18,06467; habiendo sido 6 los especímenes puestos a prueba, la variación entre la resistencia hallada en cada uno no es alta; es así que el P8 obtuvo el valor mínimo con 109,14 KG/CM2 y el P13 presentó 162,57 KG/CM2 como valor máximo.

Tabla N° 20

Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 14 días - Mezcla Patrón

N° Especímenes	7	UNIDAD
Media	185,4373	KG/CM2
Mediana	184,6150	KG/CM2
Desviación Estándar	4,01102	
Mínimo	181,38	KG/CM2
Maximo	192,38	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

Figura 12. Resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 14 días - Mezcla Patrón

En la tabla N° 20 y la figura 12 se observa que se evaluaron 7 especímenes y se encontró que la resistencia a compresión de los mismos, habiendo sido curados por inmersión y probados a los 14 días, llegó a una resistencia media de 185,4373 KG/CM2, con una desviación estándar de 4,01102. En estos resultados se aprecia que el P19 presentó el valor máximo de resistencia, siendo esta de 192,38 KG/CM2 y el P18 alcanzó el valor mínimo con 181,38KG/CM2.

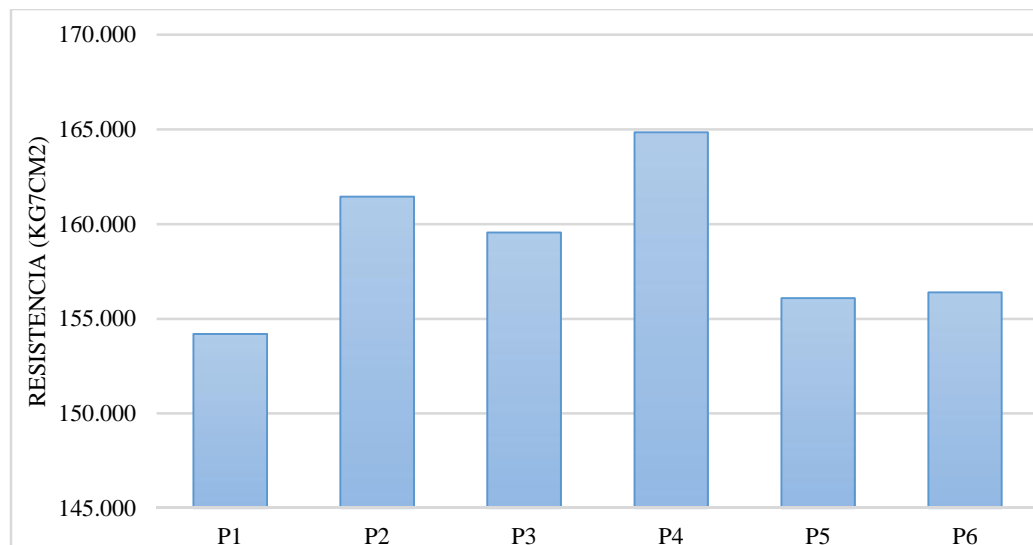
4.1.2.3. Especímenes ensayados a los 28 días

Tabla N° 21

Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes sin curado y probados a los 28 días - Mezcla Patrón

N° Especímenes	6	UNIDAD
Media	158,7543	KG/CM2
Mediana	157,9725	KG/CM2
Desviación Estándar	3,95910	
Mínimo	154,20	KG/CM2
Maximo	164,84	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

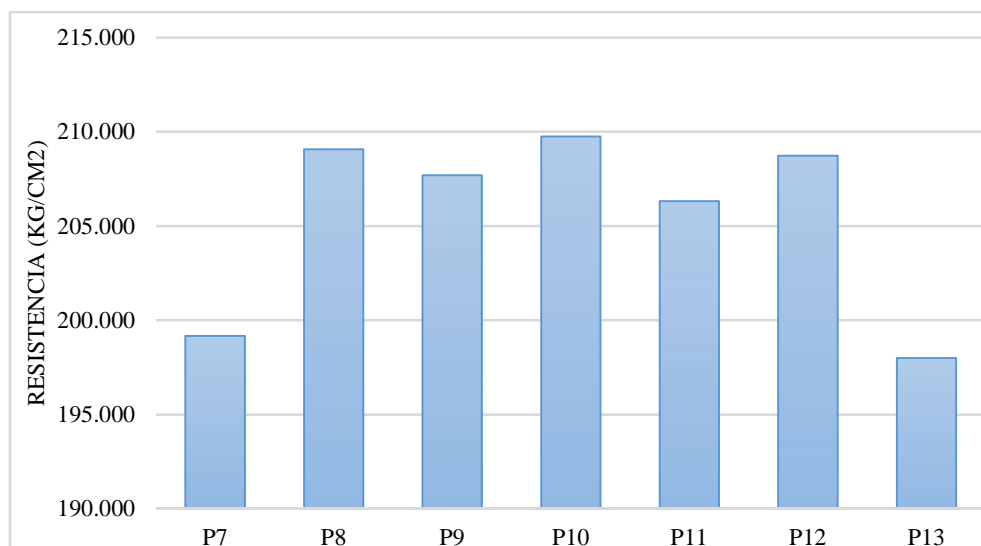
Figura 13. Resistencia a la compresión de los especímenes sin curado, probados a los 28 días - Mezcla Patrón

En la tabla N° 21 y la figura 13 se observa que la resistencia a compresión de los especímenes sin curado y probados a los 28 días alcanzó una resistencia media de 158,7543 KG/CM2, con una desviación estándar de 3,95910; habiendo sido 6 los especímenes puestos a prueba, el P1 fue el que alcanzó el valor mínimo de 154,20 KG/CM2 y el P4, el valor máximo de 164,84 KG/CM2.

Tabla N° 22**Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersion y probados a los 28 días - Mezcla Patrón**

N° Especímenes	7	UNIDAD
Media	205,5369	KG/CM2
Mediana	207,7030	KG/CM2
Desviación Estándar	4,88193	
Mínimo	198,00	KG/CM2
Máximo	209,76	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

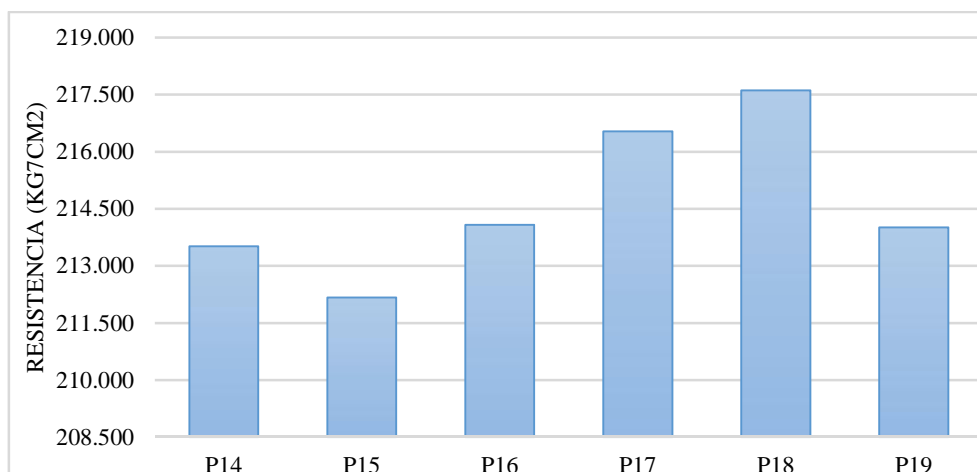
Figura 14. Resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersion, probados a los 28 días - Mezcla Patrón

En la tabla N° 22 y la figura 14 se puede apreciar que la resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersion, probados a los 28 días, logró una resistencia media de 205,5369 KG/CM2, con una desviación estándar de 4,88193; habiendo sido 7 los especímenes puestos a prueba, el valor de la resistencia máxima hallada es de 209,76 KG/CM2 y el valor mínimo llegó a 198,00 KG/CM2 como valor máximo.

Tabla N° 23**Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 28 días - Mezcla Patrón**

N° Especímenes	6	UNIDAD
Media	214,6542	KG/CM2
Mediana	214,0440	KG/CM2
Desviación Estándar	2,02467	
Mínimo	212,17	KG/CM2
Maximo	217,61	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

Figura 15. Resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 28 días - Mezcla Patrón

En la tabla N° 23 y la figura 15 queda ilustrado que se evaluaron 6 especímenes y se encontró que la resistencia a compresión de los mismos, habiendo sido curados por inmersión y probados a los 28 días, alcanzó una resistencia media de 214,6542 KG/CM2, con una desviación estándar de 2,02467. En estos resultados se aprecia que el P18 presentó el valor máximo de resistencia, siendo esta de 217,61 KG/CM2 y el P15 alcanzó el valor mínimo con 212,17 KG/CM2.

4.1.3. Resultados de los ensayos realizados a los especímenes elaborados con mezcla de diseño usando agregados en su condición de saturados con humedad superficial.

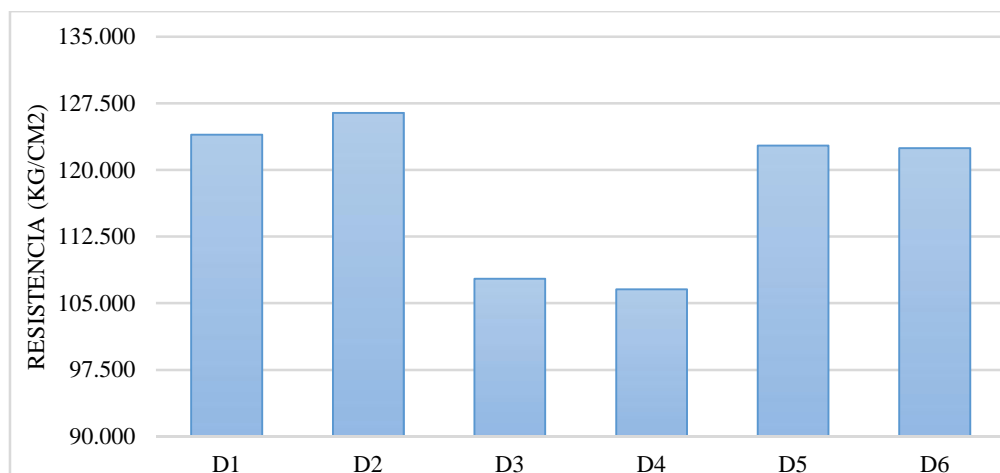
4.1.3.1. Especímenes ensayados a los 7 días

Tabla N° 24

Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 7 días - Mezcla Diseño

N° Especímenes	6	UNIDAD
Media	118,3243	KG/CM2
Mediana	107,6080	KG/CM2
Desviación Estándar	3,78348	
Mínimo	106,55	KG/CM2
Máximo	126,44	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

Figura 16. Resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 7 días - Mezcla Diseño

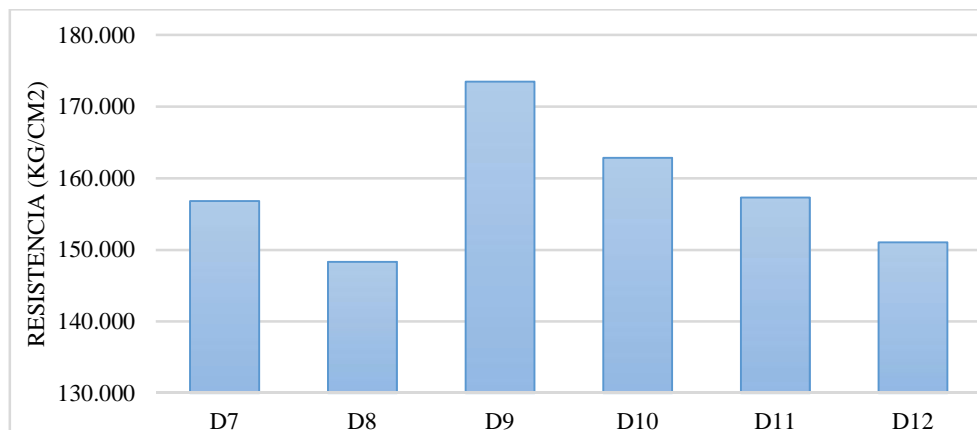
En la tabla N° 24 y la figura 16 se observa que la resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 7 días alcanzó una resistencia media mucho mayor que en la mezcla patrón, pues se logró 118,3243 KG/CM2, con una desviación estándar de 3,78348; donde el D4 obtuvo el valor mínimo de 106,55 KG/CM2 y el D2, el valor máximo de 126,44 KG/CM2.

Tabla N° 25

Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probados a los 7 días - Mezcla Diseño

N° Especímenes	6	UNIDAD
Media	158,2998	KG/CM2
Mediana	157,0610	KG/CM2
Desviación Estándar	9,01784	
Mínimo	148,31	KG/CM2
Maximo	173,48	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

Figura 17. Resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probados a los 7 días - Mezcla Diseño

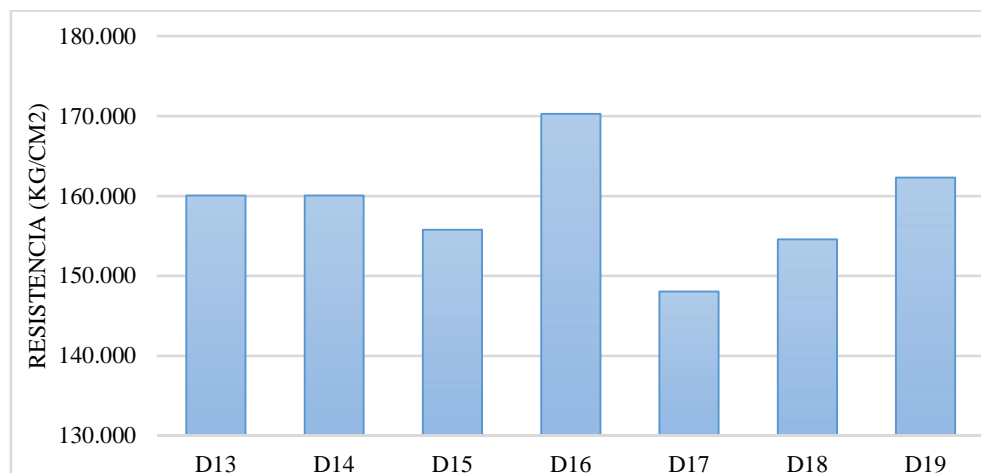
En la tabla N° 25 y la figura 17 se observa que se evaluaron 6 especímenes y se encontró que la resistencia a compresión de los mismos, curados por aspersión y probados a los 7 días, alcanzó una resistencia media de 158,2998 KG/CM2, con una desviación estándar de 9,01784. En estos resultados se aprecia que el D8 presentó el valor mínimo de resistencia (148,31 KG/CM2) y el D9 alcanzó el valor máximo, que fue de 173,48 KG/CM2.

Tabla N° 26

Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 7 días - Mezcla Diseño

N° Especímenes	7	UNIDAD
Media	158,7341	KG/CM2
Mediana	160,0790	KG/CM2
Desviación Estándar	6,94809	
Mínimo	148,06	KG/CM2
Máximo	170,28	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

Figura 18. Resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 7 días - Mezcla Diseño

En la tabla N° 26 y la figura 18 se observa que se evaluaron 7 especímenes y se encontró que la resistencia a compresión de los mismos, habiendo sido curados por inmersión y probados a los 7 días, alcanzaron una resistencia media de 158,7341 KG/CM2, con una desviación estándar de 6,94809. En estos resultados se aprecia que el D17 presentó el valor mínimo de resistencia, siendo esta de 148,06 KG/CM2 y el D16 alcanzó el valor máximo, muy por encima de los demás, con 170,28 KG/CM2.

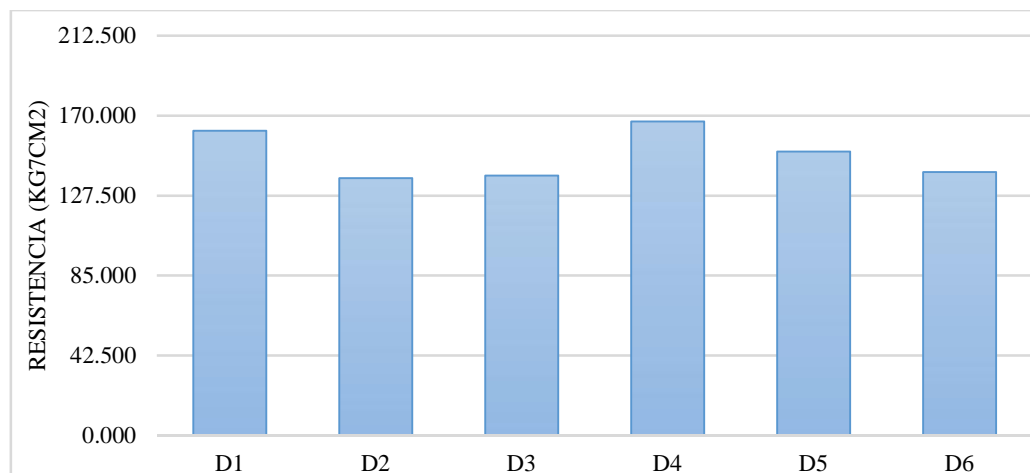
4.1.3.2. Especímenes ensayados a los 14 días

Tabla N° 27

Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 14 días - Mezcla Diseño

N° Especímenes	6	UNIDAD
Media	149.1029	KG/CM2
Mediana	115,4395	KG/CM2
Desviación Estándar	12,98169	
Mínimo	136,76	KG/CM2
Máximo	166,87	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

Figura 19. Resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 14 días - Mezcla Diseño

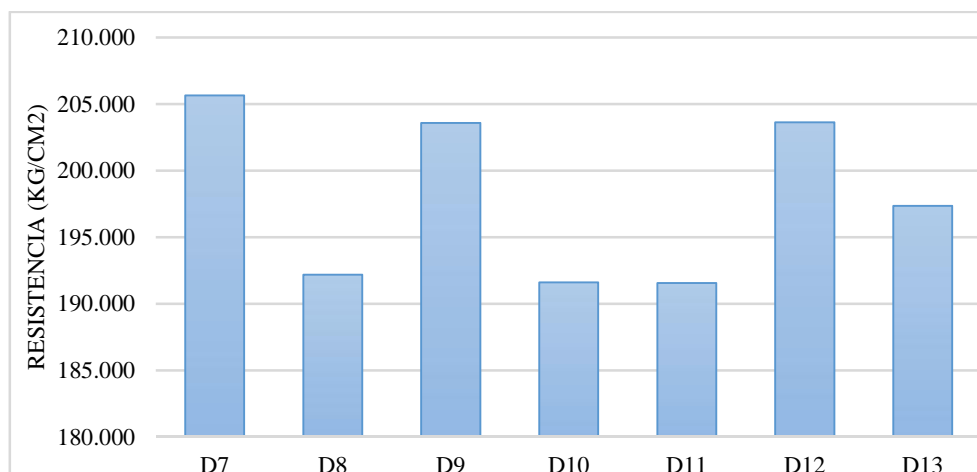
En la tabla N° 27 y la figura 19 se observa que la resistencia a compresión de los especímenes con mezcla diseño, sin curado, probados a los 14 días alcanzó una resistencia media de 149.1029 KG/CM2, con una desviación estándar de 12,98169; habiendo sido 6 los especímenes puestos a prueba, se muestra uniformidad o poca varianza entre los valores de resistencia obtenidos entre ellos. El valor máximo fue de 166,87 KG/MC2 y el valor mínimo fue de 136,76 KG/MC2.

Tabla N° 28

Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probados a los 14 días - Mezcla Diseño

N° Especímenes	7	UNIDAD
Media	197,9373	KG/CM2
Mediana	197,3530	KG/CM2
Desviación Estándar	6,29310	
Mínimo	191,56	KG/CM2
Máximo	205,64	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

Figura 20. Resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probados a los 14 días - Mezcla Diseño

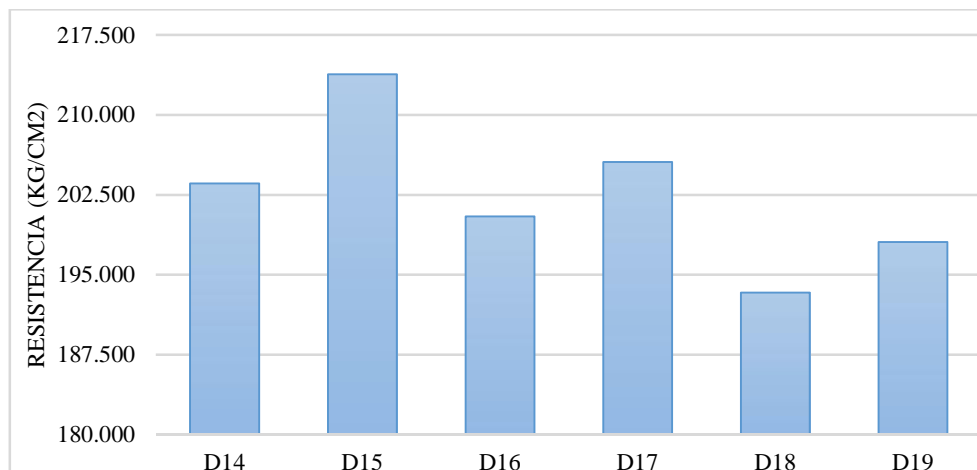
En la tabla N° 28 y la figura 20 se puede apreciar que la resistencia a compresión de los especímenes hechos con mezcla diseño, curados por aspersión y probados a los 14 días, alcanzó una resistencia media de 197,9373 KG/CM2, con una desviación estándar de 6,29310; habiendo sido 7 los especímenes puestos a prueba se puso de manifiesto que el D10 Y D11 obtuvieron el valor mínimo, siendo este de 191,56 KG/CM2 y el D7 presentó 205,64 KG/CM2, siendo el valor máximo de resistencia a compresión alcanzado.

Tabla N° 29

Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 14 días - Mezcla Diseño

N° Especímenes	6	UNIDAD
Media	202,4733	KG/CM2
Mediana	202,0285	KG/CM2
Desviación Estándar	7,01220	
Mínimo	193,34	KG/CM2
Máximo	213,80	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

Figura 21. Resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 14 días - Mezcla Diseño

En la tabla N° 29 y la figura 21 se observa que se evaluaron 6 especímenes y se encontró que la resistencia a compresión de los mismos, habiendo sido curados por inmersión y probados a los 14 días, llegó a una resistencia media de 202,4733 KG/CM2, con una desviación estándar de 7,01220. En estos resultados se aprecia que el espécimen D15 presentó el valor máximo de resistencia, siendo esta de 213,80 KG/CM2 y el D18 alcanzó el valor mínimo con 193,34 KG/CM2.

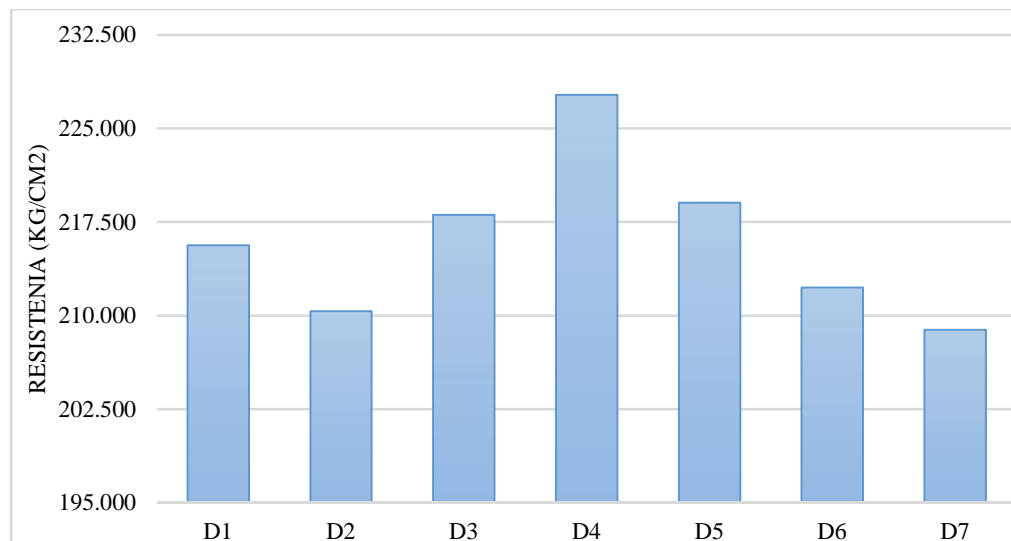
4.1.3.3. Especímenes ensayados a los 28 días

Tabla N° 30

Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 28 días - Mezcla Diseño

N° Especímenes	7	UNIDAD
Media	215,9904	KG/CM2
Mediana	195,6370	KG/CM2
Desviación Estándar	6,41094	
Mínimo	208,88	KG/CM2
Máximo	227,68	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

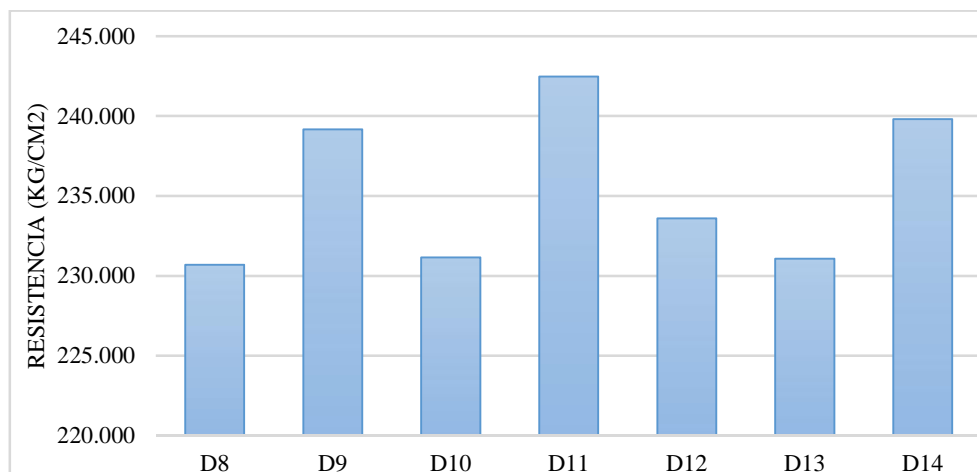
Figura 22. Resistencia a compresión de los especímenes sin curado, probados a los 28 días - Mezcla Diseño

En la tabla N° 30 y la figura 22 se observa que la resistencia a compresión de los especímenes de mezcla diseño, sin curado y probados a los 28 días, alcanzó una resistencia media de 215,9904 KG/CM2, con una desviación estándar de 6,41094; habiendo sido 7 los especímenes puestos a prueba, el D2 fue el que alcanzó el valor mínimo de 208,88 KG/CM2 y el D4, el valor máximo de 227,68 KG/CM2.

Tabla N° 31**Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probaos a los 28 días - Mezcla Diseño**

N° Especímenes	7	UNIDAD
Media	235,4264	KG/CM2
Mediana	233,5980	KG/CM2
Desviación Estándar	4,92947	
Mínimo	230,70	KG/CM2
Maximo	242,48	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

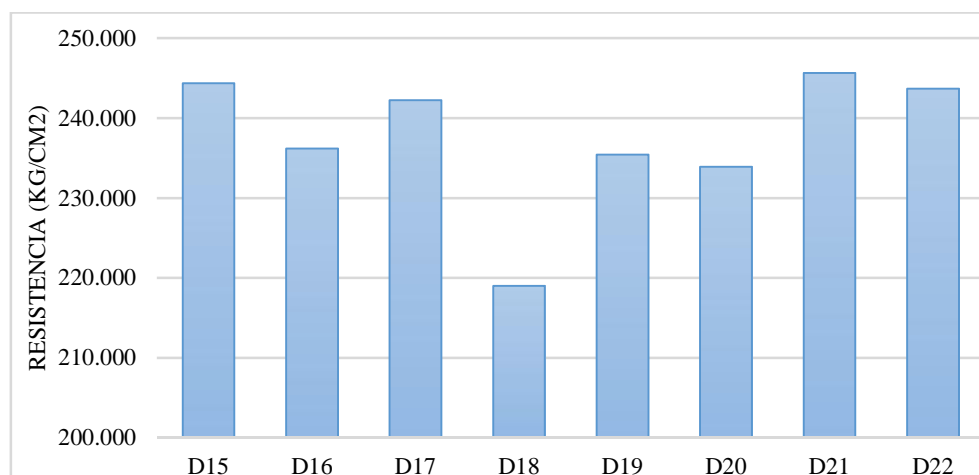
Figura 23. Resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión, probados a los 28 días - Mezcla Diseño

En la tabla N° 31 y la figura 23 se puede apreciar que la resistencia a compresión de los especímenes curados por aspersión y probados a los 28 días, logró una resistencia media de 235,4264 KG/CM2, con una desviación estándar de 4,92947; habiendo sido 7 los especímenes puestos a prueba, el valor de la resistencia máxima hallada es de 242,48 KG/CM2 y el valor mínimo llegó a 230,70 KG/CM2 como valor máximo.

Tabla N° 32**Estadísticos de la resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 28 días - Mezcla Diseño**

N° Especímenes	8	UNIDAD
Media	237,5524	KG/CM2
Mediana	239,2160	KG/CM2
Desviación Estándar	8,74479	
Mínimo	218,99	KG/CM2
Máximo	245,64	KG/CM2

Nota: Elaboración propia



Nota: Elaboración propia

Figura 24. Resistencia a compresión de los especímenes curados por inmersión, probados a los 28 días - Mezcla Diseño

En la tabla N° 32 y la figura 24 se revela que se evaluaron 8 especímenes con mezcla de diseño, en los que se encontró que la resistencia a compresión, habiendo sido curados por inmersión y probados a los 28 días, alcanzó una resistencia media de 237,5524 KG/CM2, con una desviación estándar de 8,74479. En estos resultados se aprecia que el D21 presentó el valor máximo de resistencia, siendo esta de 245,64 KG/CM2 y el D18 alcanzó el valor mínimo con 218,99 KG/CM2.



4.2. Discusión de Resultados

Considerando el diseño metodológico de esta investigación, lo que se ha trabajado es la comparación del promedio de la resistencia a compresión de los especímenes elaborados con el diseño de mezclas de La Mezcla Patrón con el promedio de la resistencia a compresión de los especímenes elaborados con el diseño de mezclas de La Mezcla de Diseño con Agregados en su condición de Saturados con humedad superficial.

Para encontrar los resultados de esta investigación, los especímenes de concreto fueron sometidos a pruebas de compresión axial, según la normatividad existente (las normas que se usaron se indican en la bibliografía). Los especímenes se seleccionaron en dos grupos; un grupo experimental y un grupo patrón o de control. Primero el grupo de especímenes patrón, formado por 60 unidades, 21 probados a los 7 días, 20 probados a los 14 días y 19 más probados a los 28 días. Segundo el grupo de especímenes experimental, formado por 60 unidades, 19 probados a los 7 días, 19 probados a los 14 días, y 22 probados a los 28 días. Todos los especímenes fueron curados en tres condiciones diferentes (sin curado, por aspersión y por inmersión).

La comparación de los dos grupos de especímenes permitió comprobar la hipótesis. Es decir, se puede concluir que la resistencia a compresión de los elementos verticales de concreto se incrementa cuando se usa en su elaboración agregados en su condición de saturados con humedad superficial, esto implica que usar agregados en su condición de saturados con humedad superficial para elaborar concreto se constituye como un método de curado interno en elementos verticales de concreto.

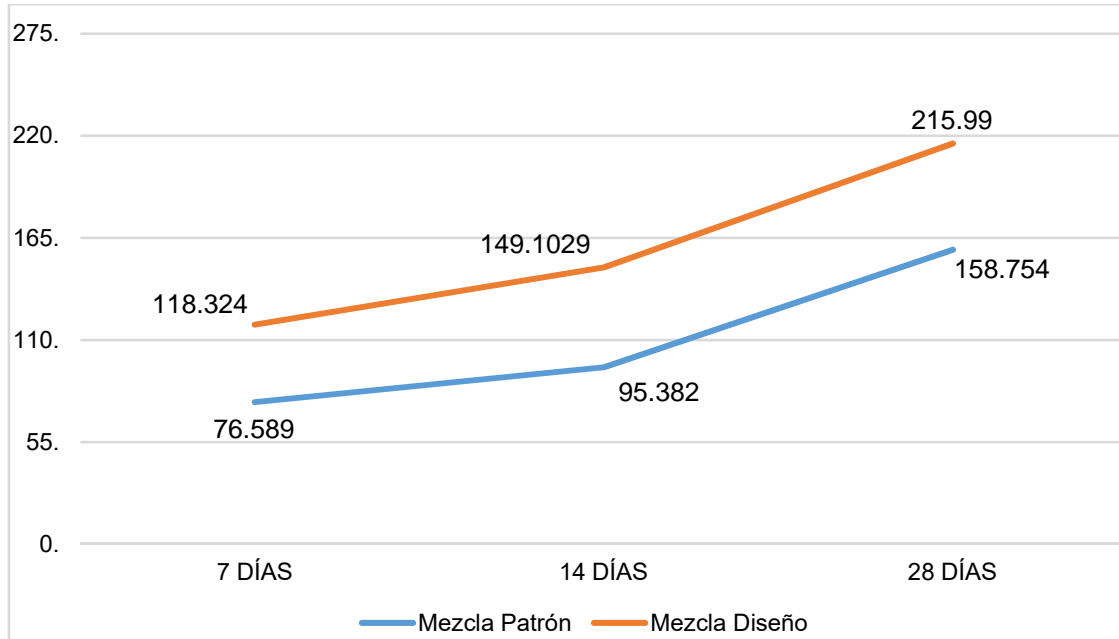
Tanto los especímenes de la Mezcla Patrón, como los especímenes de la Mezcla de Diseño, han sido expuestos a tres condiciones de curado diferentes:

-) Condiciones precarias. (Sin curado externo)
-) Condiciones aceptables. (Curado por aspersión)
-) Condiciones óptimas. (Curado por inmersión)

Comparación de la Resistencia a compresión promedio de los especímenes.

Mezcla Patrón Vs mezcla de Diseño.

Sin curado.



Nota: Elaboración propia

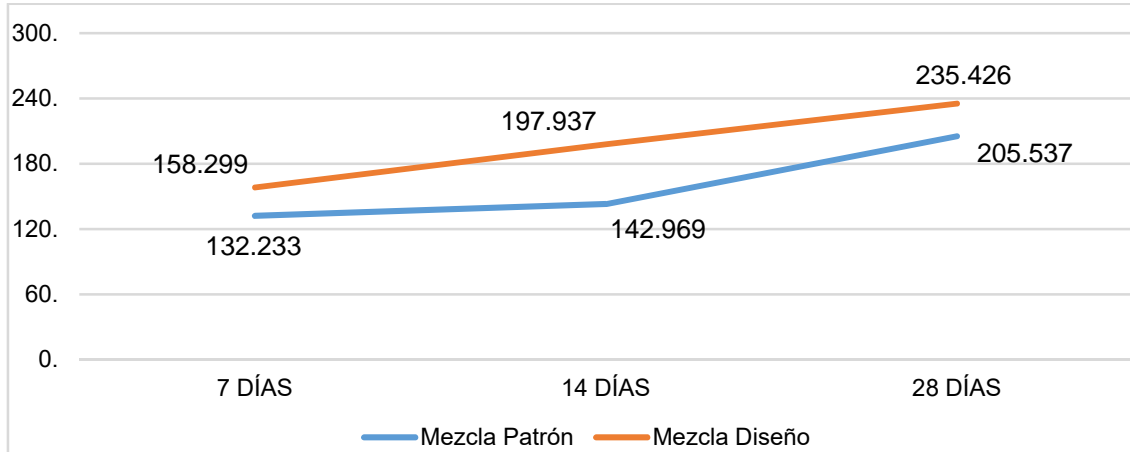
Figura 25. Resistencia a compresión de especímenes sin curado.

Como se puede observar en la figura 25, el promedio de la resistencia a compresión del concreto de la **Mezcla de Diseño** (215.990 Kg/cm²) **es mayor** que el promedio de la resistencia a compresión del concreto de la **Mezcla Patrón** (158.754 Kg/cm²). Con respecto a la resistencia a compresión de diseño (210 Kg/cm), el concreto de la Mezcla de Diseño la sobrepasa (215.990 Kg/cm²) en 5.990 Kg/cm² (2.85%); en cambio el concreto de la Mezcla Patrón no llega a la resistencia de diseño (210 Kg/cm²) por 51.246 Kg/cm² (24.40%).

Comparación de la Resistencia a compresión promedio de los especímenes.

Mezcla Patrón Vs mezcla de Diseño.

Curado por aspersión.



Nota: Elaboración propia

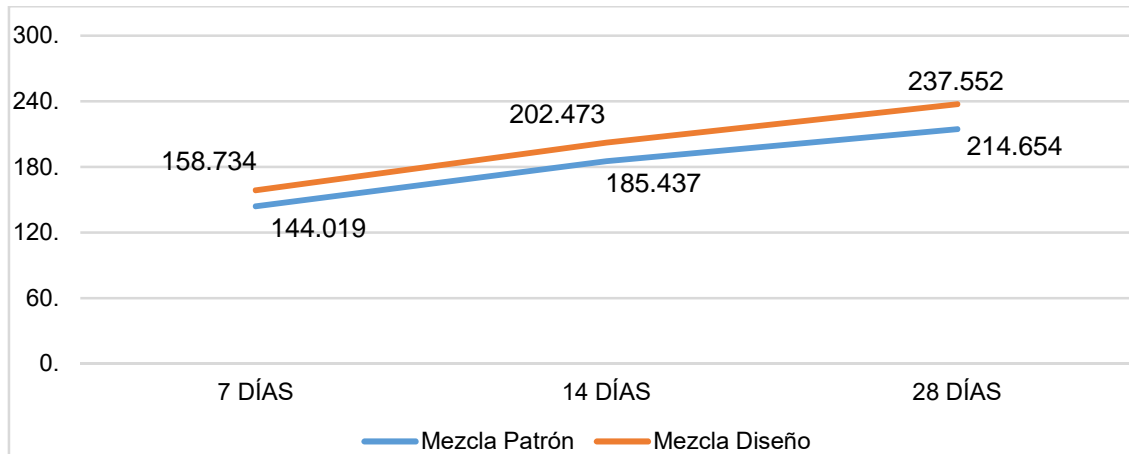
Figura 26. Resistencia a compresión de especímenes curados por aspersión.

Como se puede observar en la figura 26, el promedio de la resistencia a compresión del concreto de la **Mezcla de Diseño** (235.426 Kg/cm²) es **mayor** que el promedio de la resistencia a compresión del concreto de la **Mezcla Patrón** (205.537 Kg/cm²). Con respecto a la resistencia a compresión de diseño (210 Kg/cm), el concreto de la Mezcla de Diseño la sobrepasa (235.426 Kg/cm²) en 25.426 Kg/cm² (12.11%); en cambio el concreto de la Mezcla Patrón no llega a la resistencia de diseño (210 Kg/cm²) por 4.463 Kg/cm² (2.13%).

Comparación de la Resistencia a compresión promedio de los especímenes.

Mezcla Patrón Vs mezcla de Diseño.

Curado por aspersión.



Nota: Elaboración propia

Figura 27. Resistencia a compresión de especímenes curados por inmersión.

Como se puede observar en la figura 27, el promedio de la resistencia a compresión del concreto de la **Mezcla de Diseño** (237.552 Kg/cm²) es **mayor** que el promedio de la resistencia a compresión del concreto de la **Mezcla Patrón** (214.654 Kg/cm²), en 9.639 %. Con respecto a la resistencia a compresión de diseño (210 Kg/cm), el concreto de la Mezcla de Diseño la sobrepasa (237.552 Kg/cm²) en 27.552 Kg/cm² (13.12%); el concreto de la Mezcla Patrón también sobrepasa (214.654 Kg/cm²) a la resistencia de diseño (210 Kg/cm²) por 4.654 Kg/cm² (2.22%), aunque en mínima medida.



CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

-) La resistencia a compresión de los elementos de concreto elaborados con la mezcla de diseño (usando agregados en su condición de saturados con humedad superficial) se incrementa con respecto a la resistencia a compresión de los elementos de concreto elaborados con la mezcla patrón.
-) El incremento es de 27.25%, en condición sin curado.
-) El incremento es de 14.24%, en condición de curado por aspersion.
-) El incremento es de 10.9%, en condición de curado por inmersión.
-) Se determinó las propiedades físico mecánicas de los agregados.
-) Se logró saturar los agregados al 100%, sumergiéndolos en agua por 72 horas.
-) El Peso Unitario del Concreto de la Mezcla de Diseño con agregados saturados (2232.9 Kg/m³), es mayor al Peso Unitario del Concreto de la Mezcla Patrón (2239.7 Kg/m³), esto indica que el concreto elaborado con agregados saturados es más denso, y por lo tanto su mayor densidad implica mayor resistencia.
-) El agua contenida en los poros de los agregados, no es liberada al momento de realizar la mezcla, esto se comprobó mediante el ensayo de revenimiento (cono de Abrams), tanto en la mezcla patrón como en la mezcla de diseño el asentamiento es muy similar, 3.5” vs 3.6” respectivamente.
-) Mantener a los agregados saturados con humedad superficial (agua libre) al momento de realizar la mezcla, garantiza que cada grano de los agregados se mantendrá 100% saturado.
-) Vistos los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión, se concluye que la saturación de los agregados antes de elaborar la mezcla para concreto, influye directamente en la resistencia a compresión del concreto.
-) La saturación de agregados para elaborar mezclas de concreto, se constituye en un método de curado interno eficaz.



5.2. Recomendaciones

-) Se recomienda a otros investigadores, realizar el estudio de esta tesis de Investigación con agregados de otras canteras de Cajamarca y comparar los resultados.
-) Se recomienda realizar pruebas de resistencia a compresión de elementos verticales de concreto en obras de construcción, y compararlas con la resistencia de elementos de concreto usando el curado interno con agregados saturados.
-) Se recomienda investigar sobre los métodos prácticos de aplicación del procedimiento de saturación de los agregados en obra.



REFERENCIAS

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del Concreto*. Editorial San Marcos: Lima, Perú
- ACI-Committee213 (2003) *Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete*, ACI *Manual of Concrete Practice*. American Concrete Institute: Farmington Hills, MI. p. 213R.1-231R.38.
- Al-Assadi, G. (2009). *Influencia De Las Condiciones De Curado En El Comportamiento Del Hormigón Sometido A Ciclos De Hielo-Deshielo* [Tesis de licenciatura]. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid: España.
- Aldana, (2014). *Uso De Material Cerámico Como Material Para Curado Interno En Mezclas De Concreto* [Tesis de maestría]. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá: Colombia. Recuperado de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/194/1/Aldana%20Barcinilla%2C%20Eder%20Samir%20-%202014.pdf>
- Aragón, S. (2006). *Manual de elaboración de concreto en obra*. San José, Costa Rica: ICCYC.
- Aragón, S., y Solano, J. (2006). *Manual de consejos prácticos sobre el concreto*. San José, Costa Rica: ICCYC.
- Bentur, A., Igarashi, S. y Kovler, K. (2001), Prevention of Autogenous Shrinkage in High-Strength Concrete by Internal Curing Using Wet Lightweight Aggregates. *Cement and Concrete Research*, 31 (1), p. 1587-1591.
- Bentz D. y Snyder K. (1999). Protected Paste Volume in Concrete: Extension to Internal Curing Using Saturated Lightweight Fine Aggregate. *Cement and Concrete Research*, 29 (1), p. 1863-1867.
- CENTRUM-Centro de Negocios (2010). *Estructura de Mercado y Grado de Concentración Industrial*. Recuperado de <http://CENTRUM.com.pe>
- De Solminihac Hernán (2005). *Revista Ingeniería de Construcción*, 20 (2). Pontificia universidad Católica de Chile.



- Durán-Herrera, A., De-León, R., y Juárez, C. (2012). *Evaluación del Mucílago de Nopal como reductor de retracción en concreto auto-consolidable* [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Figuroa, M. (2007). *Uso De Un Sistema De Curado Intermedio En Hormigón Fresco* [Tesis de licenciatura]. Universidad de Chile. Santiago: Chile.
- Henquin, R. (2013). *Epidemiología Y Estadística*. 1a edición. Corpus Libros Médicos y Científicos: Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología De La Investigación*. McGraw-Hill: México. D.F
- Hernán de Solminihac, (2005) *Revista Ingeniería de Construcción*, 20 (2).
- Hoff, C. (2003). Internal Curing on Concrete using Lightweight Aggregate. *Theodore Bremner Symposium on High-Performance Lightweight Concrete*. Tesseloniki, Greece, p. 185-203.
- Holm, T. y Bremner, T.(2000). *State-of-the-Art Report on High-Strength, High-Durability Structural Low- Density Concrete for Applications in Severe Marine Environments, in Innovations for Navigation Projects Research Program*. US Army Corps of Engineers. Engineer Research and Development Center, Structures Laboratory: Vicksburg, MS.
- Holm, T., Ooi, O. y Bremner, T. (2003), Moisture Dynamics in Lightweight Aggregate and Concrete. *Theodore Bremner Symposium on High-Performance Lightweight Concrete*. Tesseloniki, Greece, p. 167-184.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2017). Mercado de Cemento en el Perú: Despachos de Cemento y Participación en el Mercado. Recuperado de [http:// INEI.com.pe](http://INEI.com.pe).
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (1999). *Características del cemento Portland* [Mensaje en un Blog]. Recuperado de <http://www.imcyc.com/cemento/>
- Jensen, O. y Hansen, P. (2001b). Water Entrained Cement-Based Materials: I. Principles and Theoretical Background. *Cement and Concrete Research*, 31(1), p. 647-654.
- Jensen, O. y Hansen, P. (2002). Water Entrained Cement-Based Materials: II. Experimental Observations. *Cement and Concrete Research*, 32 (1),p. 973-978.



- Jensen, O. y Lura, P. (2003), *Techniques for Internal Water Curing of Concrete. Advances in Cement and Concrete*. Copper Mountain, Colorado: Engineering Conferences International, p. 67-78.
- Jiménez, P., García, A. y Morán, F. (2000). *Hormigón Armado*. Editorial Gustavo Pili, SA, Barcelona, 2000
- Kohno, K., Okamoto, T., Isikawa, Y., Sibata, T. y Mori, H. (1999), Effect of Artificial Lightweight Aggregate on Autogenous Shrinkage of Concrete. *Cement and Concrete Research*
- Kosmatka S., Kerkhoff B. y Panarese W. (2002), *Design and Control of Concrete Mixtures*. 14th ed. Engineering Bulletin 001. Skokie, IL: Portland Cement Association, 358.
- López, M., Kurtis, K. y Kahn, L. (2006). The Use of Saturated Lightweight Coarse Aggregate Decreases Long-Term Deformations of High Performance Lightweight Concrete. *7th CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete*. Montreal: CANMET - ACI. (aceptado para publicación).
- Lura, P., Benz D., Lange D., Kovler, K., Bentur, A. y Van Breugel, K. (2003), Measurements of Water Transport from Saturated Pumice Aggregates to Hardening Cement Paste. *Advances in Cement and Concrete*. Copper Mountain, Colorado: Engineering Conferences International, p. 89-99.
- Manobanda, C. (2013). *El Curado Del Hormigón Y Su Incidencia En Las Propiedades Mecánicas Finales* [Tesis de licenciatura]. Universidad Técnica de Ambato. Ambato: Ecuador.
- Mehta P. y Monteiro P. (1993), *Concrete. Microstructure, Properties and Materials*. Second ed: Mc Graw-Hill.
- Mindess, S., Young J. y Darwing, D. (2003). *Concrete*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Mohr, B., Premenko, L., Nanko, H. y Kurtis, K. (2005). Examination of Wood-derived Powders and Fibers for Internal Curing of Cement-based Materials. *Self- Sissecation and Its Importance in Concrete Technology*. Gaithersbureg, Maryland, USA: Lund University Lund Institute of Technology. p. 229-244.
- Neville, A. (1988.). *Tecnología del concreto*. Editorial Limusa: Mexico D.F.



- Neville A. (1996), *Properties of Concrete*. Fourth ed. New York: Addison Wesley Logman Limited.
- Philleo, RE. (1991), *Ciencia de los Materiales del Concreto II*, American Ceramic Society, WE sterville OH, pp. 1-8.
- Powers, T. (1947). A Discussion of Cement Hydration in Relation to the Curing of Concrete, in *Proceedings of the Highway. Research Board: Washington DC, 40(1)*, p.178-188.
- Rivera, G. (s.f.). *Concreto Simple*. Cauca, Colombia: Universidad del Cauca.
- Rivva, E. (1992). *Tecnología del Concreto*. Diseño de Mezclas. Lima: UNI.
- Rivva, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Lima: ICG.
- Rivva López, E. (2002). *Concretos de Alta Resistencia*. Lima: ICG.
- Rivva, E. (2004). *Control del Concreto en Obra*. Lima: ICG.
- Rodolfo, Jeria H. (2004). *Curso Laboratorista Vial Clase C*, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile, Santiago de Chile.
- Ruiz, P. (2006). *Influencia de los métodos comunes de curado en los especímenes de concreto de alto desempeño* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Lima: Perú
- Shah, S. y Ahmad S.(1994). *Concretes and Applications*. First ed. McGraw-Hill.
- Teodoro, H. (2005). *Diseño de estructuras de concreto*. 4ta edición. Lima, Perú: Fondo editorial de la pontificia Universidad Católica.
- Trujillo, R. (2011). *Uso De Agregado Ligero Como Medio De Curado Interno En Concretos De Alto Comportamiento Fabricado Con Puzolanas* [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/2890/1/1080224576.pdf>
- Uninter, M. (2017). La Importancia Del Concreto Como Material De Construcción [Mensaje en un Blog]. Universidad Internacional. Recuperado de <https://cemioceanouninter.wordpress.com/2017/07/21/ejemplo-otros-articulos/>
- Valera, (2007). *Resistencia del Concreto al Fuego y Propiedades Térmicas*. E-book. Recuperado de <http://notasdeconcretos.blogspot.pe/search/label/Propiedades>.



Weber S. y Reinhardt H.W. (1997). A New Generation of High Performance Concrete: Concrete with Autogenous Curing. *Advanced Cement Based Materials*, 6(2), p. 59-68.

Zhutovsky, S., Kovler, K. y Bentur, A. (2002), Efficiency of Lightweight Aggregate for Internal Curing of High Strength Concrete to Eliminate Autogenous Shrinkage. *Materials and Structures*, 35 (1), p. 97-101.

ANEXOS (Panel Procedimental y Fotográfico)

ANEXO A: Acopio de preparación de materiales



En la imagen se puede ver la Chancadora en la Cantera La Victoria

A continuación, se observa el proceso de chancado de piedras de río en funcionamiento



Productos finales de la chancadora; gravas de diferentes diámetros.



Se observa los agregados acopiados en el Laboratorio de materiales de la UNC.



Se realizó el lavado y secado de materiales. Para lavar el agregado fino (arena), se procedió como se observa en la foto, removiendo la arena sobre un tamiz permeable mientras se vierte agua limpia.



El agregado grueso (piedra chancada de 1/2"), se lavó vertiendo agua limpia sobre la pila del agregado.



Después que se lavaron los agregados, se extendieron sobre costales expuestos al sol y el aire.





ANEXO B: Lista de Recursos, Utensilios, Equipos y Herramientas utilizados en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNC

* Recursos Humanos:

Tesista: Bach. Ing. JUAN CARLOS SANTA CRUZ CÁCERES

Asesores: M.en I. HECTOR PEREZ LOAYZA, M. Cs. Ing. YVONNE KATHERINE FERNÁNDEZ LEÓN

Colaboradores: Padres, hermanos, compañeros de estudios.

* Materiales:

Agregado Fino (Arena gruesa de río)

Agregado Grueso (Piedra chancada de río)

Cemento Portland Tipo I (Pacasmayo)

Agua (del Servicio Público de Agua Potable de la UNC)

Aceite de cocina (para usarse como antiadherente en el encofrado de especímenes)

* Maquinaria y Equipos:

Máquina Universal para compresión axial

Mezcladora de concreto (tipo trompo.)

Balanzas Electrónicas de precisión.

Estufas electrónicas

Juegos de tamices para agregado grueso y para agregado fino

Moldes cilíndricos metálicos para especímenes estándar de concreto

Moldes cilíndricos de plástico para especímenes estándar de concreto

Recipientes plásticos, metálicos, graduados y no graduados.

Cono de Abramhs

Varilla lisa de fierro.

Espátulas, badilejos, palana, picos, escobas.

Combo o mazo de goma.

Cámara fotográfica

Deformímetro



Cono y pisón de arena, fiola de 500 ml

Probetas graduadas, canastillas, cestas de alambre.

Tamices de malla metálicas con marcos de madera

Costales

Wincha, regla

Nota: Elaboración propia



ANEXO C: Ensayo de Materiales

Ensayo de contenido de Humedad de los agregados: agregado fino y agregado grueso con tres repeticiones cada uno

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS	
NORMA	: ASTM C566/NTP 339.185
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Río Chonta

Nota: Elaboración propia

AGREGADO FINO (Arena)	REPETICIONES		
	1°	2°	3°
PESO DEL RECIPIENTE (g)	80.00	80.00	80.00
PESO MUESTRA HÚMEDA + RECIPIENTE (g)	612.00	601.00	600.00
PESO MUESTRA SECA + RECIPIENTE (g)	595.00	575.00	580.00
PESO DEL AGUA (g)	17.00	26.00	20.00
PESO MUESTRA SECA (g)	515.00	495.00	500.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	3.30 %	5.25 %	4.00 %
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	4.18 %		

AGREGADO GRUESO (Piedra Chancada)	REPETICIONES		
	1°	2°	3°
PESO DEL RECIPIENTE (g)	160.00	160.00	160.00
PESO MUESTRA HÚMEDA + RECIPIENTE (g)	3194.00	3211.00	3205.00
PESO MUESTRA SECA + RECIPIENTE (g)	3160.00	3175.00	3172.00
PESO DEL AGUA (g)	34.00	36.00	33.00
PESO MUESTRA SECA (g)	3000.00	3015.00	3012.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.13 %	1.19 %	1.10 %
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.14 %		

Nota: Elaboración propia



Ensayo granulométrico de agregado fino con tres repeticiones

ENSAYO ANALISIS GRANULOMETRICO - AGREGADO FINO

NORMA : ASTM C136/NTP 400.012

TESIS : Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño

TESISTA : Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres

LABORAT. : Universidad Nacional de Cajamarca

CANTERA : La Victoria - Rio Chonta

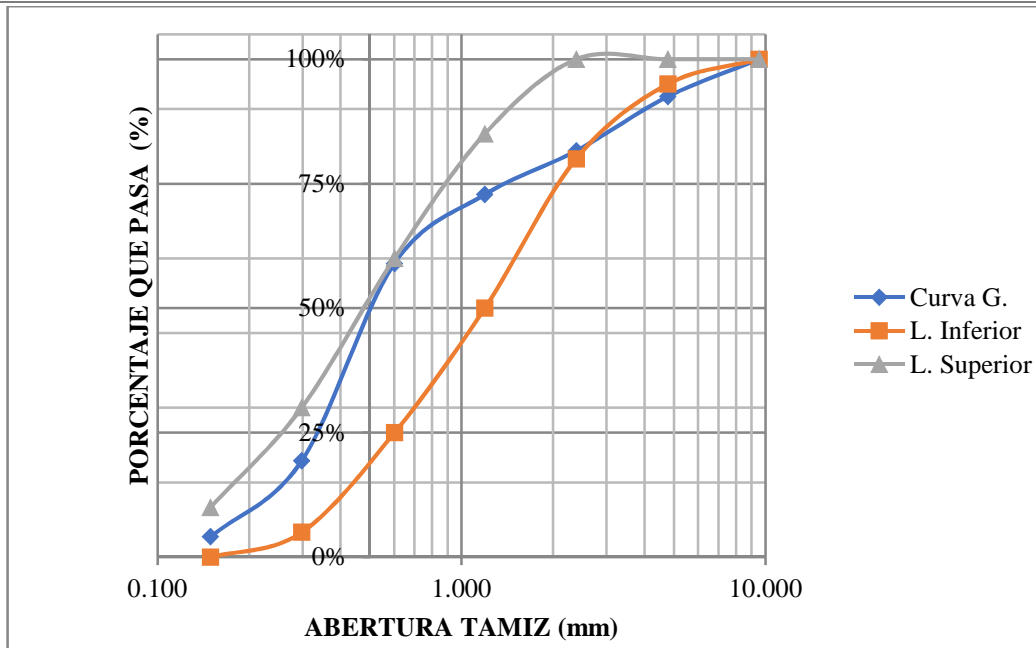
P. MUESTRA : 1500 g

Nota: Elaboración propia

ENSAYO N° 01

MALLA NOMENC.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	PORCENTAJE QUE PASA %	
						MENOR	MAYOR
3/8	9.500	0.00	0.00%	0.00%	100%	100%	100%
N° 4	4.760	112.40	7.49%	7.49%	93%	95%	100%
N° 08	2.380	163.30	10.89%	18.38%	82%	80%	100%
N° 16	1.190	131.60	8.77%	27.15%	73%	50%	85%
N° 30	0.600	207.80	13.85%	41.01%	59%	25%	60%
N° 50	0.297	594.80	39.65%	80.66%	19%	5%	30%
N° 100	0.149	228.60	15.24%	95.90%	4%	0%	10%
N°200	0.074	44.20	2.95%	98.85%	1%		
< N° 200	0.074	17.30	1.15%	100.00%	0%		
TOTAL		1500.00	100%	MF	2.706		

Nota: Elaboración propia.

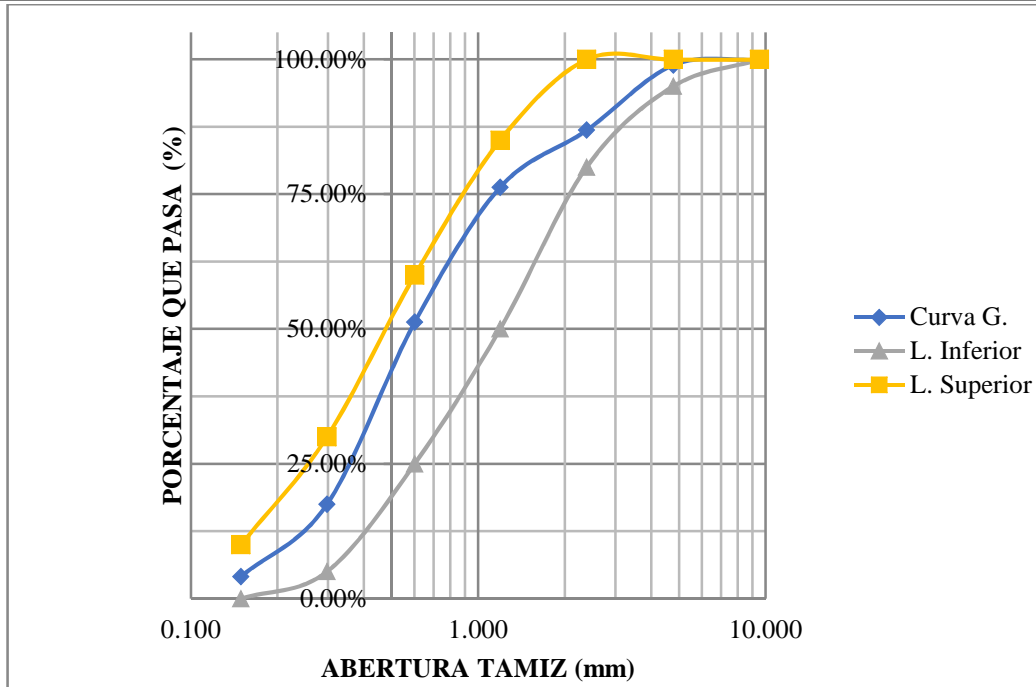


Nota: Elaboración propia.

ENSAYO N° 02

MALLA NOMENC.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCETAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	PORCENTAJE QUE PASA %	
						MENOR	MAYOR
3/8	9.500	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
N° 4	4.760	15.80	1.05%	1.05%	98.95%	95%	100%
N° 08	2.380	181.20	12.08%	13.13%	86.87%	80%	100%
N° 16	1.190	158.70	10.58%	23.71%	76.29%	50%	85%
N° 30	0.600	375.60	25.04%	48.75%	51.25%	25%	60%
N° 50	0.297	506.50	33.77%	82.52%	17.48%	5%	30%
N° 100	0.149	200.80	13.39%	95.91%	4.09%	0%	10%
N°200	0.074	46.60	3.11%	99.01%	0.99%		
< N° 200	0.074	14.80	0.99%	100.00%	0.00%		
TOTAL		1500.00	100%	MF	2.651		

Nota: Elaboración propia.

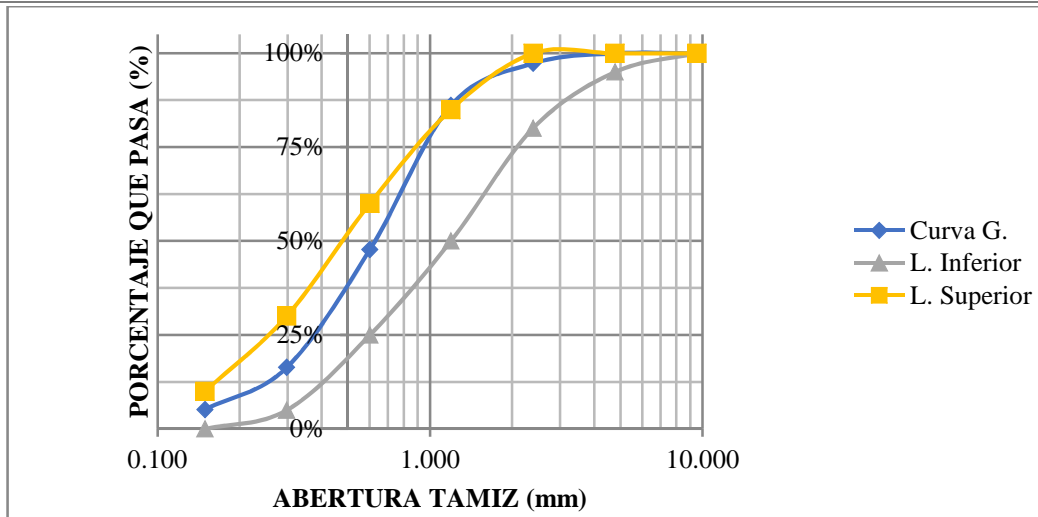


Nota: Elaboración propia.

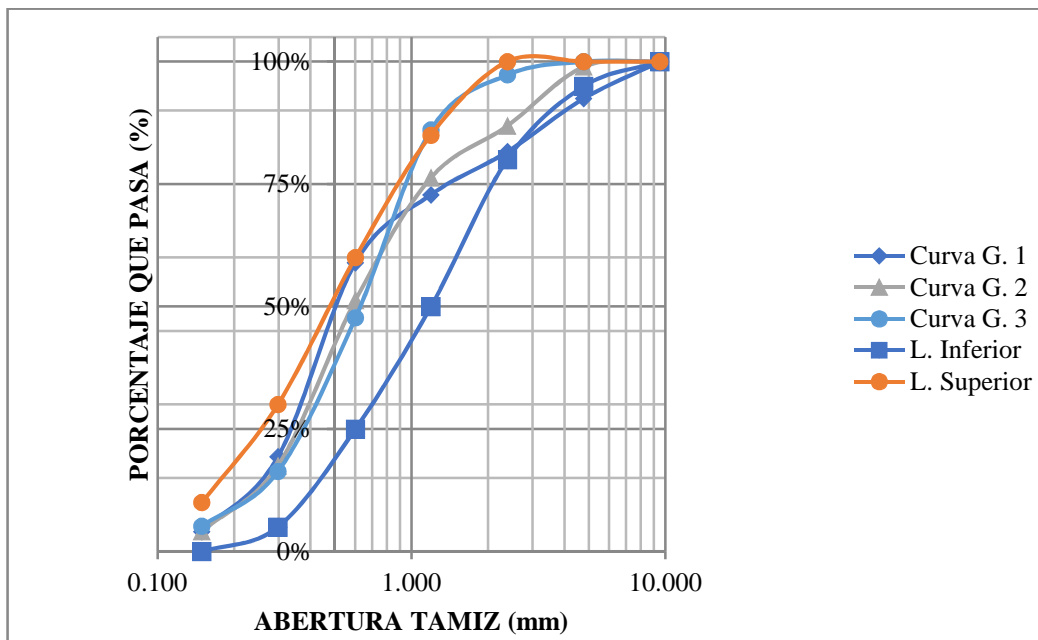
ENSAYO N° 03

MALLA NOMENC.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCETAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	PORCENTAJE QUE PASA %	
						MENOR	MAYOR
3/8	9.500	0.00	0.00%	0.00%	100%	100%	100%
N° 4	4.760	0.00	0.00%	0.00%	100%	95%	100%
N° 08	2.380	55.40	2.70%	2.70%	97%	80%	100%
N° 16	1.190	229.50	11.20%	13.90%	86%	50%	85%
N° 30	0.600	787.00	38.39%	52.29%	48%	25%	60%
N° 50	0.297	643.00	31.37%	83.65%	16%	5%	30%
N° 100	0.149	229.00	11.17%	94.82%	5%	0%	10%
N°200	0.074	89.00	4.34%	99.17%	1%		
< N° 200	0.074	17.10	0.83%	100.00%	0%		
TOTAL		2050.00	100%	MF	2.474		

Nota: Elaboración propia.



Nota: Elaboración propia.



Nota: Elaboración propia.

CUADRO RESUMEN MODULO DE FINURA

ITEM	MÓDULO DE FINURA	PROMEDIO
ENSAYO 01	2.706	2.610
ENSAYO 02	2.651	
ENSAYO 03	2.474	

Nota: Elaboración propia.



Ensayo granulométrico de agregado grueso con tres repeticiones

ENSAYO ANALISIS GRANULOMETRICO - AGREGADO GRUESO

NORMA	: ASTM C136/NTP 400.012
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
P. MUESTRA	: 7000 g

Nota: Elaboración propia.

ENSAYO N° 01

MALLA (mm)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCETAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
2"	50.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.40	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.70	370.46	5.41%	5.41%	94.59%
3/8"	9.51	5125.15	74.84%	80.25%	19.75%
N°04	4.76	1332.35	19.45%	99.70%	0.30%
CAZOLETA		20.42	0.30%	100.00%	0.00%
TOTAL		6848.38	100.00%	MF	6.799

Nota: Elaboración propia.



ENSAYO N° 02

MALLA (mm)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCETAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
2"	50.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.40	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.70	65.31	0.94%	0.94%	99.06%
3/8"	9.51	5221.98	75.41%	76.36%	23.64%
N°04	4.76	1563.03	22.57%	98.93%	1.07%
CAZOLETA		74.12	1.07%	100.00%	0.00%
TOTAL		6924.44	100.00%	MF	6.753

Nota: Elaboración propia.

ENSAYO N° 03

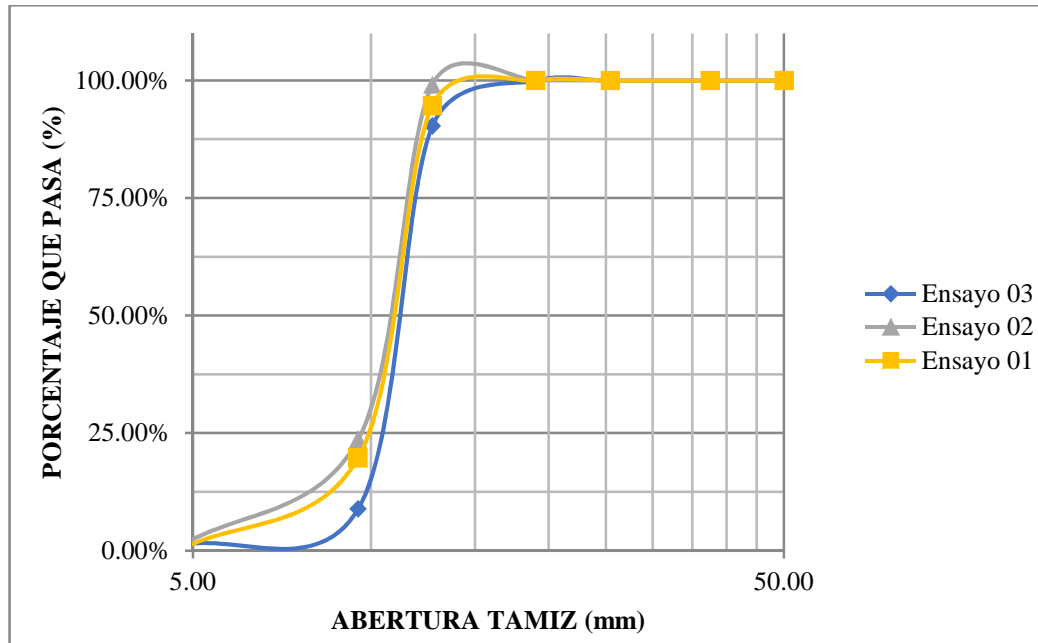
MALLA (mm)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCETAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
2"	50.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.40	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.70	670.46	9.70%	9.70%	90.30%
3/8"	9.51	5625.15	81.40%	91.10%	8.90%
N°04	4.76	529.60	7.66%	98.77%	1.23%
cazoleta		85.30	1.23%	100.00%	0.00%
TOTAL		6910.51	100.00%	MF	6.899

Nota: Elaboración propia.

CUADRO RESUMEN MODULO DE FINURA

ITEM	MÓDULO DE FINURA	PROMEDIO
ENSAYO 01	6.799	
ENSAYO 02	6.753	6.817
ENSAYO 03	6.899	

Nota: Elaboración propia.



Nota: Elaboración propia.

Ensayo de materiales finos en los agregados finos y gruesos

MATERIALES FINOS EN LOS AGREGADOS

NORMA	: ASTM C117/NTP 400.018
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
P. MUESTRA	: SE INDICA

Nota: Elaboración propia.

**AGREGADO FINO - ARENA**

ITEM	UNIDAD	N° DE ENSAYO			PROMEDIO
		1°	2°	3°	
PESO SECO DE LA MUESTRA ORIGINAL	gr	350.00	350.00	350.00	350.00
PESO SECO DE LA MUESTRA LAVADA	gr	333.40	333.40	334.30	333.70
PESO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200	gr	16.60	16.60	15.70	16.30
% DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200	%	4.74%	4.74%	4.49%	4.66%

Nota: Elaboración propia.

AGREGADO GRUESO - GRAVA

ITEM	UNIDAD	N° DE ENSAYO			PROMEDIO
		1°	2°	3°	
PESO SECO DE LA MUESTRA ORIGINAL	gr	3005.00	3000.00	3000.00	3001.67
PESO SECO DE LA MUESTRA LAVADA	gr	2988.60	2985.30	2983.50	2985.80
PESO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200	gr	16.40	14.70	16.50	15.87
% DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200	%	0.55%	0.49%	0.55%	0.53%

Nota: Elaboración propia.



Peso específico y absorción de los materiales de agregados finos

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO

NORMA	: ASTM C128/NTP 400.022
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
P. MUESTRA	: SE INDICA

Nota: Elaboración propia.

AGREGADO FINO - ARENA

ITEM	UNIDAD	FORMULA	1°	2°	3°	PROMEDIO
PESO DE LA MUESTRA DE SATURADO CON SUPERFICIALMENTE SECA (S)	gr	-----	500.00	500.00	500.00	-----
PESO DEL PICNÓMETRO LLENO DE LA MUESTRA Y EL AGUA (C)	gr	-----	1006.40	1006.80	1007.40	-----
PESO DEL PICNÓMETRO LLENADO DE AGUA (B)	gr	-----	697.90	698.10	698.20	-----
PESO DE LA MUESTRA SECA AL HORNO (A)	gr	-----	490.30	490.90	491.40	-----
PESO ESPECIFICO DE MASA SECA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SS)	gr/cm3	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2.560	2.566	2.575	2.567
PESO ESPECIFICO DE MASA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SSS)	gr/cm3	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2.611	2.614	2.621	2.615
DENSIDAD RELATIVA APARENTE (GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE)	gr/cm3	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2.697	2.694	2.697	2.696
ABSORCION	%	$\frac{(S - A)}{A}$	1.98%	1.85%	1.75%	1.86%

Nota: Elaboración propia.



Peso específico y absorción de los materiales de agregados gruesos

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO

NORMA	: ASTM C127/NTP 400.021
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
P. MUESTRA	: SE INDICA

Nota: Elaboración propia.

AGREGADO GRUESO - GRAVA

ITEM	UNIDAD	FORMULA	1°	2°	3°	PROMEDIO
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECA AL HORNO (A)	gr	-----	4852.00	5848.00	4557.00	-----
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (B)	gr	-----	4899.00	5903.00	4618.00	-----
PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA SATURADA (C)	gr	-----	3021.00	3638.00	2863.00	-----
PESO ESPECIFICO DE MASA (SS)	gr/cm ³	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2.584	2.582	2.597	2.587
PESO ESPECIFICO DE MASA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (SSS)	gr/cm ³	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2.609	2.606	2.631	2.615
PESO ESPECIFICO APARENTE	gr/cm ³	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2.650	2.646	2.690	2.662
ABSORCION	%	$\frac{(S - A)}{A}$	0.97%	0.94%	1.34%	1.08%

Nota: Elaboración propia.



Peso unitario de los agregados

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

NORMA	: ASTM C29/NTP 400.017
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
P. MUESTRA	: SE INDICA

Nota: Elaboración propia.

PESO ESPECIFICO DEL AGUA PARA ENSAYO DE PESO UNITARIO

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
PESO DE FIOLA + AGUA	gr	698.50	698.60	698.80	698.63
PESO DE FIOLA	gr	201.00	201.00	201.00	201.00
PESO DE AGUA	gr	497.50	497.60	497.80	497.63
VOLUMEN DE AGUA	cm ³	500.00	500.00	500.00	500.00
PESO ESPECÍFICO DEL AGUA	gr/cm ³	0.995	0.995	0.996	0.995

Nota: Elaboración propia.

FACTOR DE AGUA PARA ENSAYO DE PESO UNITARIO

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
PESO DE MOLDE + VIDRIO	gr	4760.000	4760.000	4760.000	4760.000
PESO DE MOLDE + VIDRIO + AGUA	gr	7770.000	7775.000	7775.000	7773.333
PESO DE AGUA	gr	3010.000	3015.000	3015.000	3013.333
PESO ESPECIFICO DEL AGUA	gr/cm ³	0.995	0.995	0.996	0.995
FACTOR DE AGUA F	cm ³	0.00033	0.00033	0.00033	0.00033

Nota: Elaboración propia.



PARA EL AGREGADO FINO - ARENA

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO EN ESTADO SECO SUELTO

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso del molde	gr	3880.00	3880.00	3880.00	3880.00
Peso del molde + agregado	gr	8355.00	8368.00	8370.00	8364.33
Peso del Agregado	gr	4475.00	4488.00	4490.00	4484.33
Factor (f)	cm ³	0.0003303	0.0003303	0.0003303	0.000330288
Peso Unitario seco suelto (PUSS)	gr/cm ³	1.478	1.482	1.483	1.481

Nota: Elaboración propia.

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO EN ESTADO SECO COMPACTADO

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso del molde	gr	3880.00	3880.00	3880.00	3880.00
Peso del molde + agregado	gr	8910.00	8895.00	8915.00	8906.67
Peso del Agregado	gr	5030.00	5015.00	5035.00	5026.67
Factor (f)	cm ³	0.0003303	0.0003303	0.0003303	0.000330288
Peso Unitario seco compactado (PUSC)	gr/cm ³	1.661	1.656	1.663	1.660

Nota: Elaboración propia.

PORCENTAJE DE VACIOS

ITEM	UNIDAD	AGREGADO FINO
PESO UNITARIO SECO SUELTO (PUSS)	Kg/m ³	1481.12
PESO UNITARIO SECO COMPACTADO (PUSC)	Kg/m ³	1660.25
PESO ESPECIFICO DE MASA SECA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SS)	gr/cm ³	2.57
PESO ESPECÍFICO DEL AGUA	Kg/m ³	995.27
VACÍOS EN BASE AL AGREGADO SUELTO	%	42.03
VACÍOS EN BASE AL AGREGADO COMPACTADO	%	35.02

Nota: Elaboración propia.



PARA EL AGREGADO GRUESO - GRAVA

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO EN ESTADO SECO SUELTO

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
PESO DEL MOLDE	gr	4085.00	4085.00	4085.00	4085.00
PESO DEL MOLDE + AGREGADO	gr	9070.00	9205.00	9250.00	9175.00
PESO DEL AGREGADO	gr	4985.00	5120.00	5165.00	5090.00
FACTOR (F)	cm ³	0.0003303	0.0003303	0.0003303	0.000330288
PESO UNITARIO SECO SUELTO (PUSS)	gr/cm ³	1.646	1.691	1.706	1.681

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO EN ESTADO SECO COMPACTADO

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
PESO DEL MOLDE	gr	4085.00	4085.00	4085.00	4085.00
PESO DEL MOLDE + AGREGADO	gr	9610.00	9695.00	9615.00	9640.00
PESO DEL AGREGADO	gr	5525.00	5610.00	5530.00	5555.00
FACTOR (F)	cm ³	0.0003303	0.0003303	0.0003303	0.000330288
PESO UNITARIO SECO COMPACTADO (PUSC)	gr/cm ³	1.825	1.853	1.826	1.835

Nota: Elaboración propia.

PORCENTAJE DE VACIOS

ITEM	UNIDAD	AGREGADO GRUESO
PESO UNITARIO SECO SUELTO (PUSS)	Kg/m ³	1681.16
PESO UNITARIO SECO COMPACTADO (PUSC)	Kg/m ³	1834.75
PESO ESPECIFICO DE MASA SECA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SS)	gr/cm ³	2.59
PESO ESPECÍFICO DEL AGUA	Kg/m ³	995.27
VACÍOS EN BASE AL AGREGADO SUELTO	%	34.71
VACÍOS EN BASE AL AGREGADO COMPACTADO	%	28.75

Nota: Elaboración propia.



ANEXO D: Diseño de mezcla del concreto patrón

DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETO PATRON

METODO	: Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
f'c	: 210 Kg/cm ² (28 días)
SLUMP	: 3" - 4"

Nota: Elaboración propia.

Condiciones Generales

(Sin Aditivo)

Nota: Elaboración propia.

Cemento

Marca: Cementos Pacasmayo

Tipo: I

Peso Específico: 3.13

Nota: Elaboración propia.

Agua

Agua potable de la red pública

Peso Específico: 995 Kg/cm³

Nota: Elaboración propia.



Características del Concreto

Resistencia de diseño del concreto: 210 Kg/cm²

Asentamiento del concreto: 3" - 4"

Nota: Elaboración propia.

Condiciones ambientales y exposición durante el vaciado

Temperatura promedio ambiente: 20 °C

Humedad Relativa: 80%

Nota: Elaboración propia.

Agregados y características

Agregado	Fino	Grueso
Cantera	La Victoria	La Victoria
Perfil	-	Chancada
Peso específico seco	2.567	2.587
Contenido de Humedad	4.18%	1.14%
Absorción	1.86%	1.08%
Módulo de finura	2.610	6.817
Tamaño Máximo Nominal	-	1/2"

Nota: Elaboración propia.

1. Determinación del F'cr

f'c =	210	kg/cm ²
f'cr =	f'c*1.2	
f'cr =	210*1.2	
f'cr =	252	kg/cm²

Nota: Elaboración propia.

2. Tamaño Máximo Nominal

1/2"

Nota: Elaboración propia.



3. Asentamiento

Mezcal de consistencia fluida

3" - 4"

Nota: Elaboración propia.

4. Determinación del Volumen Unitario de Agua

De la Tabla 02 obtenemos el Volumen Unitario de

Agua para un asentamiento de 3" a 4" y TMN de 1/2"

Agua: 216 lts/m³

Nota: Elaboración propia.

5. Selección del Contenido de Aire

De la Tabla 03, para un TMN 1/2" se obtiene 2.5%

Nota: Elaboración propia.

6. Relación Agua Cemento (A/C).

6.1 Por resistencia

$$f'_{cr} = 252 \text{ kg/cm}^2$$

250	-----	0.62
252	-----	x
300	-----	0.55

Interpolando tenemos:

$$A/C = 0.61$$

Nota: Elaboración propia.



7. Determinación del Factor Cemento

Factor Cemento =	CANTIDAD DE AGUA	
	AGUA/CEMENTO	
Factor Cemento =	216	
	0.61	
Factor Cemento =	354.098	Kg
	8 bolsas	8.332

Nota: Elaboración propia.

8. Determinación del Volumen Absoluto de la Pasta

Cemento	354.098	=	0.113
Agua de Mezcla	216	=	0.217
Aire	2.50%	=	0.025
Total		=	0.355

Nota: Elaboración propia.

9. Volumen Absoluto de Agregados

V.A.Ag =	1 - 0.355	m ³
V.A.Ag. =	0.645	m³

Nota: Elaboración propia.



10. Cálculo del módulo de Finura de La Combinación de Agregados (m)

De la tabla 04 entramos con los datos de TMN y cantidad de bolsas de cemento:

TMN:		1/2"
	Cant. De Bolsas de cemento:	8.332
bolsas		m
8.235	-----	4.54
8.332	-----	x
9.412	-----	4.61

Interpolando tenemos:

$$m = 4.546$$

Nota: Elaboración propia.

11. Calculamos la Incidencia de Agregado Fino y Agregado Grueso

MF Agregado Fino:	2.610
MF Agregado Grueso:	6.817
m:	4.546
Volumen Absoluto de Agregados:	0.645 m ³
Calculamos el % de Agregado Fino:	
% AF =	$\frac{mg - m}{mg - mf} = \frac{6.817 - 4.546}{6.817 - 2.610}$
% AF =	0.5399 53.99%
Calculamos el % de Agregado Grueso:	
% AG =	100% - 51.24% 46.01%

Nota: Elaboración propia.

**12. Volúmenes Absolutos de los Agregados:**

VA Agregados	0.645	m ³
Agregado Fino	0.3481	m ³
Agregado Grueso	0.2967	m ³

Nota: Elaboración propia.

13. Pesos Secos de los Agregados:

Agregado Fino:	$0.3481 * 2.567 * 1000 =$	893.713	Kg
Agregado Grueso:	$0.2967 * 2.587 * 1000 =$	767.594	Kg

Nota: Elaboración propia.

14. Proporciones de Diseño:

Cemento	354.098	Kg
Agua de Mezcla	216.000	Lts
Agregado Fino Seco	893.713	Kg
Agregado Grueso Seco	767.594	Kg

Nota: Elaboración propia.

15. Corrección por Humedad de los Agregados:

Agregado Fino Húmedo:	$893.713 * 1.0418 =$	931.110
Agregado Grueso Húmedo:	$767.594 * 1.0114 =$	776.352

Humedad Superficial:

Agregado Fino Húmedo:	$4.18 - 1.86 =$	2.32%
Agregado Grueso Húmedo:	$1.14 - 1.08 =$	0.06%

Aporte de agua por humedad del agregado:

Agregado Fino Húmedo:	$893.713 * 0.0232 =$	20.768
Agregado Grueso Húmedo:	$767.594 * 0.0006 =$	0.448
Aporte de Humedad de los Agregados:		21.216

Nota: Elaboración propia.



16. Agua Efectiva

Agua Efectiva = 216 - 19.408 =	194.784	lts
--------------------------------	----------------	------------

Nota: Elaboración propia.

17. Proporciones de Diseño en Peso

Cemento	354.098	Kg
Agregado Fino Húmedo	931.110	Kg
Agregado Grueso Húmedo	776.352	Kg
Agua Efectiva	194.784	Lts
354.098	931.110	776.352
354.098	354.098	354.098
1	:	2.630
	:	2.192

Nota: Elaboración propia.

18. Proporciones para especímenes cilíndricos (En Peso)

MATERIALES	ESPECIMENES CILINDRICOS ESTÁNDAR			
	1 m ³	1	15	30
Cemento	354.098	1.969	33.9615738	67.92314754
A. Fino	931.110	5.177	89.3027495	178.6054989
A. Grueso	776.352	4.317	74.4599599	148.9199198
Agua	194.784	1.083	18.68173	37.36346

*Los pesos indicados en el cuadro incluyen 15% de desperdicio.

Nota: Elaboración propia.



Ajuste de las proporciones de la mezcla patrón

AJUSTE DE LAS PROPORCIONES DE LA MEZCLA PARA CONCRETO PATRON (MEZCLA 1)

METODO	: Módulo de los Pesos y Volúmenes Absolutos
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
f'c	: 210 Kg/cm ² (28 días)
SLUMP	: 3" - 4"

Nota: Elaboración propia.

1. Propiedades del Concreto Fresco

Volumen de Concreto preparado (Tanda)	=	0.025	m ³
PU del Concreto Fresco	=	2232.9	kg/m ³
Asentamiento	=	3.5	"
Agua Añadida	=	0.8	l/tanda
Aspecto de la Mezcla	=	Satisfactoria	
Trabajabilidad	=	Satisfactoria	

Nota: Elaboración propia.

Agregado	Fino	Grueso
Cantera	La Victoria	La Victoria
Perfil	-	Chancada
Peso específico seco	2.567	2.587
Contenido de Humedad	4.18%	1.14%
Absorción	1.86%	1.08%
Módulo de finura	2.610	6.817
Tamaño Máximo Nominal	-	1/2"

Nota: Elaboración propia.



2. Pesos de la tanda de ensayo

Cemento	=	8.852	Kg/tanda
Agregado fino húmedo	=	23.278	Kg/tanda
Agregado grueso húmedo	=	19.409	Kg/tanda
Agua Añadida	=	5.670	l/tanda
Peso por tanda	=	57.209	

Nota: Elaboración propia.

3. Rendimiento de la tanda de ensayo

$$\text{Rendimiento} = 57.529/2232.9 = 0.0256 \text{ m}^3$$

Nota: Elaboración propia.

4. Agua de mezcla por tanda

Humedad superficial Agregado Fino (4.18-1.86)	=	2.32%	
Humedad superficial Agregado Grueso (1.14-1.08)	=	0.06%	
Agua Añadida (Agua de mezcla/tanda + agua añadida)	=	5.670	l/tanda
Aporte del A. Fino Húmedo ($893.713 \cdot 0.025 \cdot 0.0232$)	=	0.519	l/tanda
Aporte del A. Grueso Húmedo ($767.594 \cdot 0.025 \cdot 0.0006$)	=	0.011	l/tanda
Agua de mezclado por tanda	=	6.200	l/tanda

Nota: Elaboración propia.

$$\text{5. Agua de mezcla requerida (6.200/0.025)} = 248 \text{ l/m}^3$$

Nota: Elaboración propia.

6. Corrección en el agua de mezclado

Asentamiento obtenido	=	3.5"	pulgadas
Asentamiento requerido	=	3" - 4"	pulgadas
Incremento o disminución de agua	=	0	l/m ³
nueva cantidad de agua de mezclado	=	248	l/m ³

Nota: Elaboración propia.



7. Relación A/C y Determinación del Factor Cemento

Factor Cemento =	CANTIDAD DE AGUA	
	AGUA/CEMENTO	
Factor Cemento =	248	
	0.61	
Factor Cemento =	406.557	Kg
	9 bolsas	9.566

Nota: Elaboración propia.

8. Corrección por el método de los pesos

Agregado Grueso Húmedo (19.409/0.0256)	757.542	kg
Agregado Grueso Seco (757.542/1.025)	739.065	kg
Agregado Grueso saturado Superficialmente seco	747.066	kg
Volumen Unitario del concreto	2232.900	kg/m ³
Agregado Fino saturado superficialmente seco	831.276	kg
Agregado Fino Seco	816.091	kg

Nota: Elaboración propia.

9. Nuevos Pesos Secos de la tanda

Cemento	=	406.557	kg/m ³
Agua de Diseño	=	248.000	l/m ³
Agregado Fino	=	816.091	kg/m ³
Agregado Grueso	=	739.065	kg/m ³

Nota: Elaboración propia.

**10. Corrección por el método de volúmenes**

Cemento	=	0.0028	m ³
Agua	=	0.0062	m ³
Agregado Fino Seco	=	0.0087	m ³
Agregado Grueso Seco	=	0.0074	m ³
Suma de Volúmenes Absolutos	=	0.0252	m ³
Aire atrapado	=	0.0004	m ³

Nota: Elaboración propia.

11. Volúmenes Absolutos

Cemento	=	0.1299	m ³
Agua de Diseño	=	0.2492	m ³
Aire atrapado	=	0.0400	m ³
Agregado Grueso seco	=	0.2856	m ³
Suma de volúmenes absolutos	=	0.7047	m ³
Volumen absoluto de agregado fino seco	=	0.2953	m ³
Peso del agregado fino seco	=	758.087	kg

Nota: Elaboración propia.

12. Pesos finales ajustados por metro cúbico

Cemento	=	426.885	kg/m³
Agua de Diseño	=	260.400	kg/m³
Agregado fino seco	=	795.992	kg/m³
Agregado Grueso seco	=	776.019	kg/m³

Nota: Elaboración propia. *Los pesos indicados en el cuadro incluyen 5% de desperdicio.



ANEXO E: Saturación de los agregados para mezcla diseño

SATURACION DE LOS AGREGADOS PARA MEZCLA 2

METODO	: Inmersión de agregados en recipientes por 72 horas
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
f'c	: 210 Kg/cm ² (28 días)
SLUMP	: 3" - 4"

Nota: Elaboración propia.

1. Peso de los agregados a saturar:

La cantidad de agregados a saturar se calcularon con las proporciones determinadas en el diseño de la mezcla patrón, como se muestra.

Cemento	=	426.885	kg/m³
Agua de Diseño	=	260.400	kg/m³
Agregado fino seco	=	795.992	kg/m³
Agregado Grueso seco	=	776.019	kg/m³

Los pesos para una tanda de 30 especímenes serían:

Volumen de 1 espécimen estándar:	0.00556	m ³
Volumen para 30 especímenes	0.1668	m ³

Cemento	=	71.204	kg/m³
Agua de Diseño	=	43.435	kg/m³
Agregado Fino seco	=	132.771	kg/m³
Agregado Grueso seco	=	129.440	kg/m³

*Los pesos indicados en el cuadro incluyen 5% de desperdicio.

*Los pesos indicados son cuando los agregados están en su condición de secos

Nota: Elaboración propia.

Saturación de los agregados:

Herramientas y equipos usados:

- Balanza electrónica de 30Kg de capacidad
- 2 Tinas
- Un balde graduado de 3 litros
- Un balde sin graduar de 20 litros



Se pesó el agregado fino seco en el balde de 20 litros y en la balanza de 30Kg y se obtuvieron los siguientes pesos parciales:

PESO 1	29.620	Kg
PESO 2	29.044	Kg
PESO 3	29.514	Kg
PESO 4	22.834	Kg
PESO 5	21.758	Kg
TOTAL	132.770	Kg



Se depositó el agregado fino pesado en una de las tinas de plástico y luego se le agregó agua limpia hasta cubrir completamente el agregado y se dejó por 72 horas.

Se pesó el agregado fino seco en el balde de 20 litros y en la balanza de 30Kg y se obtuvieron los siguientes pesos parciales:

PESO 1	27.198	Kg
PESO 2	27.822	Kg
PESO 3	29.000	Kg
PESO 4	28.420	Kg
PESO 5	17.000	Kg
TOTAL	129.440	Kg

Se depositó el agregado grueso pesado en la otra tina de plástico y luego se le agregó agua limpia hasta cubrir completamente el agregado y se dejó por 72 horas.



Después de 72 horas de sumergido, el agregado es sacado de las tinas y se escurre toda el agua posible en un tamiz, antes de realizarse la mezcla del concreto. El procedimiento se observa en las siguientes fotografías.



En la foto se observa el costal sobre un tamiz usado para escurrir el agua el agregado que ha sido sacado de la tina.



En esta foto se ve el agregado fino ya escurrido y listo para usarse en la elaboración de la mezcla.

Se procede de la misma manera con el agregado grueso.



Ensayo de contenido de humedad de los agregados

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

NORMA	: ASTM C566/NTP 339.185
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta

Nota: Elaboración propia.

AGREGADO FINO (Arena)	REPETICIONES		
	1°	2°	3°
PESO DEL RECIPIENTE (g)	80.00	80.00	80.00
PESO MUESTRA HÚMEDA + RECIPIENTE (g)	681.00	654.00	665.00
PESO MUESTRA SECA + RECIPIENTE (g)	595.00	575.00	580.00
PESO DEL AGUA (g)	86.00	79.00	85.00
PESO MUESTRA SECA (g)	515.00	495.00	500.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	16.70 %	15.96 %	17.00 %
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	16.55 %		

Nota: Elaboración propia.

AGREGADO GRUESO (Piedra Chancada)	REPETICIONES		
	1°	2°	3°
PESO DEL RECIPIENTE (g)	160.00	160.00	160.00
PESO MUESTRA HÚMEDA + RECIPIENTE (g)	3240.00	3260.00	3251.00
PESO MUESTRA SECA + RECIPIENTE (g)	3160.00	3175.00	3172.00
PESO DEL AGUA (g)	80.00	85.00	79.00
PESO MUESTRA SECA (g)	3000.00	3015.00	3012.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	2.67 %	2.82 %	2.62 %
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	2.70 %		

Nota: Elaboración propia.



ANEXO F: Diseño de mezcla para concreto con agregados saturados

DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETO CON AGREGADOS SATURADOS (MEZCLA 2)

METODO	: Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
f'c	: 210 Kg/cm ² (28 días)
SLUMP	: 3" - 4"

Nota: Elaboración propia.

Condiciones Generales

(Sin Aditivo)

Nota: Elaboración propia.

Cemento

Marca: Cementos Pacasmayo

Tipo: I

Peso Específico: 3.13 Kg/cm³

Nota: Elaboración propia.

Agua

Agua potable de la red pública

Peso Específico: 995 Kg/cm³

Nota: Elaboración propia.



Características del Concreto

Resistencia de diseño del concreto: 210 Kg/cm²

Asentamiento del concreto: 3" - 4"

Nota: Elaboración propia.

Condiciones ambientales y exposición durante el vaciado:

Temperatura promedio ambiente: 20 °C

Humedad Relativa: 80%

Nota: Elaboración propia.

Agregados y características:

Agregado	Fino	Grueso
Cantera	La Victoria	La Victoria
Perfil	-	Chancada
Peso específico seco	2.567	2.587
Contenido de Humedad	16.55%	2.70%
Absorción	1.86%	1.08%
Módulo de finura	2.610	6.817
Tamaño Máximo Nominal	-	1/2"

Nota: Elaboración propia.

1. Determinación del F'cr

f'c =	210	kg/cm ²
f'cr =	f'c*1.2	
f'cr =	210*1.2	
f'cr =	252	kg/cm²

Nota: Elaboración propia.

2. Tamaño Máximo Nominal

1/2"

Nota: Elaboración propia.



3. Asentamiento

Mezcla de consistencia fluida

3" - 4"

Nota: Elaboración propia.

4. Determinación del Volumen Unitario de Agua

De la Tabla 02 obtenemos el Volumen Unitario de

Agua para un asentamiento de 3" a 4" y TMN de 1/2"

Agua :	216	lts/m³
---------------	------------	--------------------------

Nota: Elaboración propia.

5. Selección del Contenido de Aire

De la Tabla 03, para un TMN 1/2" se obtiene 2.5%

Nota: Elaboración propia.

6. Relación Agua Cemento (A/C)

6.1 Por resistencia

$$f'_{cr} = 252 \text{ kg/cm}^2$$

250	-----	0.62
252	-----	x
300	-----	0.55

Interpolando tenemos:

A/C =	0.61
--------------	-------------

Nota: Elaboración propia.



7. Determinación del Factor Cemento

Factor Cemento =	CANTIDAD DE AGUA
	AGUA/CEMENTO
Factor Cemento =	216
	0.61
Factor Cemento =	354.098 Kg
	8 bolsas
	8.332

Nota: Elaboración propia.

8. Determinación del Volumen Absoluto de la Pasta

Cemento	354.098	=	0.113
Agua de Mezcla	216	=	0.217
Aire	2.50%	=	0.025
Total		=	0.355

Nota: Elaboración propia.

9. Volumen Absoluto de Agregados

V.A.Ag =	1 - 0.355	m ³
V.A.Ag. =	0.645	m³

Nota: Elaboración propia.



10. Cálculo del módulo de Finura de La Combinación de Agregados (m)

De la tabla 04 entramos con los datos de TMN y cantidad de bolsas de cemento:

TMN:	1/2"
Cant. De Bolsas de cemento:	8.332

bolsas		m
8.235	-----	4.54
8.332	-----	x
9.412	-----	4.61

Interpolando tenemos:

$$m = 4.546$$

Nota: Elaboración propia.

11. Calculamos la Incidencia de Agregado Fino y Agregado Grueso

MF Agregado Fino:	2.610
MF Agregado Grueso:	6.817
m:	4.546
Volumen Absoluto de Agregados:	0.645

Calculamos el % de Agregado Fino:

$$\% AF = \frac{mg - m}{mg - mf} = \frac{6.817 - 4.546}{6.817 - 2.610}$$

$$\% AF = 0.5399 \quad 53.99\%$$

Calculamos el % de Agregado Grueso:

$$\% AG = 100\% - 51.24\% \quad 46.01\%$$

Nota: Elaboración propia.



12. Volúmenes Absolutos de los Agregados

VA Agregados	0.645	m ³
Agregado Fino	0.3481	m ³
Agregado Grueso	0.2967	m ³

Nota: Elaboración propia.

13. Pesos Secos de los Agregados

Agregado Fino:	$0.3481 * 2.567 * 1000 =$	893.713	Kg
Agregado Grueso:	$0.2967 * 2.587 * 1000 =$	767.594	Kg

Nota: Elaboración propia.

14. Proporciones de Diseño

Cemento	354.098	Kg
Agua de Mezcla	216.000	Lts
Agregado Fino Seco	893.713	Kg
Agregado Grueso Seco	767.594	Kg

Nota: Elaboración propia.

15. Corrección por Humedad de los Agregados

Agregado Fino Húmedo:	$893.713 * 1.1657 =$	1041.648
Agregado Grueso Húmedo:	$767.594 * 1.0270 =$	788.342

Humedad Superficial

Agregado Fino Húmedo:	$16.57 - 1.86 =$	14.69%
Agregado Grueso Húmedo:	$2.70 - 1.08 =$	1.62%



Aporte de agua por humedad del agregado

Agregado Fino Húmedo:	$893.713 \times 0.1469 =$	131.305
Agregado Grueso Húmedo:	$767.594 \times 0.0162 =$	12.438
Aporte de Humedad de los Agregados:		143.743

Nota: Elaboración propia.

16. Agua Efectiva

$$\text{Agua Efectiva} = 216 - 143.743 = \mathbf{72.257} \quad \mathbf{Its}$$

Nota: Elaboración propia.

17. Proporciones de Diseño en Peso

Cemento	354.098	Kg	
Agregado Fino Húmedo	1041.648	Kg	
Agregado Grueso Húmedo	788.342	Kg	
Agua Efectiva	72.257	Lts	
	354.098	1041.648	788.342
	354.098	354.098	354.098
	1	: 2.942	: 2.226

Nota: Elaboración propia.

18. Proporciones para especímenes cilíndricos (En Peso)

MATERIALES	ESPECIMENES CILINDRICOS ESTÁNDAR			
	1 m3	1	15	30
Cemento	354.098	1.969	33.9615738	67.92314754
A. Fino	1041.648	5.792	99.9044227	199.8088454
A. Grueso	788.342	4.383	75.609846	151.219692
Agua	72.257	0.402	6.93017063	13.86034126

Nota: Elaboración propia. *Los pesos indicados en el cuadro incluyen 15% de desperdicio.



Ajuste de las proporciones de la mezcla diseño

AJUSTE DE LAS PROPORCIONES DE LA MEZCLA PARA CONCRETO (MEZCLA 2)

METODO	: Módulo de los Pesos y Volúmenes Absolutos
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
f'c	: 210 Kg/cm ² (28 días)
SLUMP	: 3" - 4"

Nota: Elaboración propia.

1. Propiedades del Concreto Fresco

Volumen de Concreto preparado (Tanda)	=	0.025 m ³
PU del Concreto Fresco	=	2239.7 kg/m ³
Asentamiento	=	3.6 "
Agua Añadida	=	0.2 l/tanda
Aspecto de la Mezcla	=	Satisfactoria
Trabajabilidad	=	Satisfactoria

Nota: Elaboración propia.

Agregado	Fino	Grueso
Cantera	La Victoria	La Victoria
Perfil	-	Chancada
Peso específico seco	2.567	2.587
Contenido de Humedad	16.55 %	2.70 %
Absorción	1.86 %	1.08 %
Módulo de finura	2.610	6.817
Tamaño Máximo Nominal	-	1/2"

Nota: Elaboración propia.

**2. Pesos de la tanda de ensayo**

Cemento	=	8.852	Kg/tanda
Agregado fino húmedo	=	26.041	Kg/tanda
Agregado grueso húmedo	=	19.709	Kg/tanda
Agua Añadida	=	2.006	l/tanda
Peso por tanda	=	56.609	

Nota: Elaboración propia.

3. Rendimiento de la tanda de ensayo

Rendimiento = $56.609/2239.7$		0.0253	m ³
-------------------------------	--	--------	----------------

Nota: Elaboración propia.

4. Agua de mezcla por tanda

Humedad superficial Agregado Fino (16.57-1.86)	=	14.69	%
Humedad superficial Agregado Grueso (2.70-1.08)	=	1.62	%
Agua Añadida (Agua de mezcla/tanda + agua añadida)	=	2.006	l/tanda
Aporte del A. Fino Húmedo ($893.713 \cdot 0.025 \cdot 0.0232$)	=	3.283	l/tanda
Aporte del A. Grueso Húmedo ($767.594 \cdot 0.025 \cdot 0.0006$)	=	0.311	l/tanda
Agua de mezclado por tanda	=	5.600	l/tanda

Nota: Elaboración propia.

5. Agua de mezcla requerida (6.200/0.025)	=	224.000	l/m ³
--	---	---------	------------------

Nota: Elaboración propia.

6. Corrección en el agua de mezclado

Asentamiento obtenido	=	3.6"	pulgadas
Asentamiento requerido	=	3" - 4"	pulgadas
Incremento o disminución de agua	=	0	l/m ³
nueva cantidad de agua de mezclado	=	224.00	l/m ³

Nota: Elaboración propia.



7. Relación A/C y Determinación del Factor Cemento

Factor Cemento		
=	$\frac{\text{CANTIDAD DE AGUA}}{\text{AGUA/CEMENTO}}$	
Factor Cemento	224	
=	0.61	
Factor Cemento =	367.213 Kg	
	8 bolsas	8.640

Nota: Elaboración propia.

8. Corrección por el método de los pesos

Agregado Grueso Húmedo (19.709/0.0253)	779.761 kg
Agregado Grueso Seco (779.761/1.025)	760.743 kg
Agregado Grueso saturado Superficialmente seco	768.979 kg
Volumen Unitario del concreto	2239.700 kg/m ³
Agregado Fino saturado superficialmente seco	879.508 kg
Agregado Fino Seco	863.442 kg

Nota: Elaboración propia.

9. Nuevos Pesos Secos de la tanda.

Cemento	=	367.213 kg/m ³
Agua de Diseño	=	224.000 l/m ³
Agregado Fino	=	863.442 kg/m ³
Agregado Grueso	=	760.743 kg/m ³

Nota: Elaboración propia.

**10. Corrección por el método de volúmenes**

Cemento	=	0.0028 m ³
Agua	=	0.0056 m ³
Agregado Fino Seco	=	0.0087 m ³
Agregado Grueso Seco	=	0.0074 m ³
Suma de Volúmenes Absolutos	=	0.0245 m ³
Aire atrapado	=	0.0008 m ³

Nota: Elaboración propia.

11. Volúmenes Absolutos

Cemento	=	0.1173 m ³
Agua de Diseño	=	0.2251 m ³
Aire atrapado	=	0.0080 m ³
Agregado Grueso seco	=	0.2940 m ³
Suma de volúmenes absolutos	=	0.6444 m ³
Volumen absoluto de agregado fino seco	=	0.3556 m ³
Peso del agregado fino seco	=	912.911 kg

Nota: Elaboración propia.

12. Pesos finales ajustados por metro cúbico

Cemento	=	385.574 kg/m
Agua de Diseño	=	235.200 kg/m ³
Agregado fino seco	=	958.557 kg/m ³
Agregado Grueso seco	=	798.780 kg/m ³

Nota: Elaboración propia. *Los pesos indicados en el cuadro incluyen 5% de desperdicio.



ANEXO G: Elaboración de mezcla patrón

Peso de los materiales según la dosificación de materiales, determinados en el diseño de mezclas (proporción en pesos)

NORMA	: ASTM – C192
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
f'c	: 210 Kg/cm ² (28 días)
SLUMP	: 3" - 4"

Siguiendo los pasos indicados en la normativa consultada, las proporciones por pesos determinados en el diseño de mezcla son:

Cemento	=	426.885 kg/m ³
Agua de Diseño	=	260.400 l/m ³
Agregado fino seco	=	795.992 kg/m ³
Agregado Grueso seco	=	776.019 kg/m ³

) VOLUMEN DE 01 ESPECÍMEN = 0.00556 m³

) VOLUMEN DE 20 ESPECÍMENES = 0.1112 m³

Para una tanda de 20 especímenes, los pesos son los siguientes:

Cemento	=	49.843 kg/m ³
Agua de Diseño	=	30.404 l/m ³
Agregado fino seco	=	92.940 kg/m ³
Agregado Grueso seco	=	90.608 kg/m ³

Nota: Los pesos consideran 5% de desperdicio.

En la fotografía se observa la balanza donde se pasaron los materiales de acuerdo a las proporciones.



En esta foto se ve el agregado fino pesado para la preparación de la mezcla patrón.



Mezcla de los agregados y el cemento para la Mezcla Patrón

El mezclado se hizo manualmente. En la fotografía se ven como los materiales secos se revuelven hasta tener una mezcla homogénea.



A continuación, se ven los materiales secos mezclados y listos para la adición de agua de diseño



En la imagen se observa cómo se adiciona el agua de diseño y se procede al mezclado final del concreto.



El agua de diseño debe ser añadida poco a poco, mientras se va revolviendo la mezcla, hasta lograr la consistencia y trabajabilidad de diseño.



ANEXO H: Prueba del Revenimiento para la Mezcla Patrón

ELABORACIÓN DE LA PRUEBA DE REVENIMIENTO (CONO DE ABRHAMS) – MEZCLA PATRÓN

NORMA : NTP 339.035/ASTM C143

TESIS : Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño

TESISTA : Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres

LABORAT. : Universidad Nacional de Cajamarca

CANTERA : La Victoria - Rio Chonta

f'c : 210 Kg/cm² (28 días)

SLUMP : 3.5"

Siguiendo los pasos indicados en el procedimiento de la norma para el revenimiento, se midió un asentamiento de 3.5" (8.90cm).



ANEXO I: Elaboración de especímenes con la Mezcla Patrón

ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES – MEZCLA PATRÓN

NORMA	: ASTM C192/NTP 339.183
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
f'c	: 210 Kg/cm ² (28 días)
SLUMP	: 3.5"

Estas fotos muestran los moldes engrasados con aceite para evitar la adherencia del concreto.





A continuación se observa el llenado de los moldes metálicos con el concreto elaborado de la mezcla patrón



PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO DEL CONCRETO FRESCO – MEZCLA PATRÓN

NORMA	: NTP 339.046/ASTM C138
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
f’c	: 210 Kg/cm ² (28 días)
SLUMP	: 3.5”

En las fotografías y la siguiente tabla se aprecia el peso unitario del concreto fresco



Peso del molde	8.850 Kg
Peso del molde + concreto fresco	21.510 Kg
Peso del concreto fresco	12.66 Kg
Volumen del molde	0.00567 m ³
PU del Concreto Fresco	2232.9 kg/m³

Desmoldado de los especímenes con la Mezcla Patrón

DESMOLDADO Y CURADO DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO – MEZCLA PATRÓN

NORMA	: ASTM C192/NTP 339.183
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
f'c	: 210 Kg/cm ² (28 días)
SLUMP	: 3.5"

En las dos siguientes fotografías se apreciará el desmoldado de los especímenes de concreto





Al día siguiente de la elaboración de los especímenes, se realizó el desmoldado y el curado, en las tres condiciones, se observa en las fotos los especímenes curados por inmersión.



ANEXO J: Ensayo de resistencia a compresión del concreto en la Máquina Universal de Compresión Axial

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO – MEZCLA PATRÓN

NORMA : NTP 339.034/ASTM C39

TESIS : Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño

TESISTA : Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres

LABORAT. : Universidad Nacional de Cajamarca

CANTERA : La Victoria - Rio Chonta

f'c : 210 Kg/cm² (28 días)

SLUMP : 3.5"

Los especímenes de la Mezcla Patrón se probaron a las edades de 7 días, 14 días y 28 días, en grupos de 21, 20 y 19 unidades respectivamente.

Antes de realizar la prueba de compresión en la Máquina Universal de Compresión Axial, se tomó toda la información física de cada espécimen de concreto (pesos y medidas). También es importante aclarar que los especímenes se encontraban en estado saturado superficialmente seco en el momento de la prueba.



Un espécimen se está pesando en la balanza electrónica para tener las propiedades del concreto endurecido a los 7 días.



Utilizando un Vernier se tomó las medidas de diámetro y altura de cada espécimen de concreto que se iba a probar.



Se puede observar la colocación del espécimen de concreto en la Máquina Universal de Compresión Axial, con las respectivas almohadillas de neopreno en la base y en la cabecera del espécimen.



Una vez colocado el espécimen, se procedió a ajustar manualmente hasta el tope mecánico de la máquina.



El instrumento que se ve en la foto es el deformímetro, colocado en la máquina universal de compresión para medir las deformaciones que se producen en el elemento por unidad de tiempo.



Una vez colocado y ajustado el espécimen y el deformímetro y una vez que la máquina a cargado y calentado, se procede a la aplicación de carga sobre el elemento de concreto y se registran las lecturas del deformímetro.



Cuando el elemento o espécimen falla, se deja de aplicar la carga y se observa el tipo de falla del elemento.



El tipo de falla que se muestra es una falla frágil.



Las agujas de la máquina registran la carga aplicada en la que el elemento ha dejado de resistir y ha fallado.



ANEXO K: Elaboración de mezcla con agregados saturados

ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO – MEZCLA DE DISEÑO AGREG.SATURADO

NORMA	: ASTM – C192
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
f'c	: 210 Kg/cm ² (28 días)
SLUMP	: 3" - 4"

Con respecto a la elaboración de la Mezcla de Diseño (con agregados saturados), los agregados, sumergidos en agua por 72 horas, han sido previamente sacados del agua y escurridos sobre un costal hasta que éste deje de dejar pasar agua del agregado, como se realizó para medir el contenido de humedad de los agregados saturados para el diseño de mezclas de la Mezcla de Diseño.



En la foto anterior se observan las tinas donde se han sumergido los agregados por 72 horas para saturarlos. El día de la elaboración de la Mezcla Patrón, se sacaron los materiales y se escurrieron en costales.

A continuación, en la foto se observa un costal sobre un tamiz de malla metálica, esto se ha usado para escurrir los agregados sacados de las tinas. El agregado se coloca sobre el costal y se remueve hasta que el agua deje de pasar por debajo del costal. Cuando deja de filtrar agua, entonces se pesa para ser usado en la elaboración de la mezcla. El mismo procedimiento se realizó para determinar el contenido de humedad de los agregados saturados, los datos de contenido de humedad obtenidos se han usado en el Diseño de Mezcla.



El agregado escurrido se saca del costal y se recoge en un recipiente para luego ser pesado.



Los agregados saturados escurridos y pesados listos para ser empleados en la elaboración de la Mezcla de Diseño.



Luego se procedió con el procedimiento indicado en la normativa consultada:

Pesado de los materiales según la dosificación de materiales, determinados en el diseño de mezclas (proporción en pesos).

Las proporciones por pesos determinados en el diseño de mezcla son:

Cemento	=	385.574	kg/m ³
Agua de Diseño	=	235.200	l/m ³
Agregado fino seco	=	958.557	kg/m ³
Agregado Grueso seco	=	798.780	kg/m ³

$$\text{J VOLUMEN DE 01 ESPECÍMEN} = 0.00556 \text{ m}^3$$

$$\text{J VOLUMEN DE 20 ESPECÍMENES} = 0.1112 \text{ m}^3$$

Luego para una tanda de 20 especímenes, los pesos son los siguientes:

Cemento	=	42.876	kg/m ³
Agua de Diseño	=	26.154	l/m ³
Agregado fino seco	=	106.592	kg/m ³
Agregado Grueso seco	=	88.824	kg/m ³

**Nota:* Los pesos consideran 5% de desperdicio.

En la imagen se observa la balanza donde se pasaron los materiales de acuerdo a las proporciones.



Mezcla de los agregados y el cemento para la Mezcla Diseño

Se aprecia el mezclado manual de los materiales componentes de la mezcla de diseño.



ANEXO L: Prueba del Revenimiento para la Mezcla Diseño

ELABORACIÓN DE LA PRUEBA DE REVENIMIENTO (CONO DE ABRHAMS) – MEZCLA DE DISEÑO CON AGREGADOS SATURADOS

NORMA : NTP 339.035/ASTM C143

TESIS : Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño

TESISTA : Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres

LABORAT. : Universidad Nacional de Cajamarca

CANTERA : La Victoria - Rio Chonta

f'c : 210 Kg/cm² (28 días)

SLUMP : 3.6"

Siguiendo los pasos indicados en el procedimiento de la norma para el revenimiento, se midió un asentamiento de 3.6" (9.2cm).



Peso unitario de los especímenes con la Mezcla Diseño

PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO DEL CONCRETO FRESCO – MEZCLA DE DISEÑO CON AGREGADOS SATURADOS	
NORMA	: NTP 339.046/ASTM C138
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
f’c	: 210 Kg/cm ² (28 días)
SLUMP	: 3.6”

En las imágenes se observa el pesado de los especímenes



Peso del molde	8.670 Kg
Peso del molde + concreto fresco	21.550 Kg
Peso del concreto fresco	12.88 Kg
Volumen del molde	0.00575 m ³
PU del Concreto Fresco	2239.7 kg/m³

ANEXO M: Elaboración de los especímenes con la Mezcla Diseño

ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES – MEZCLA DE DISEÑO CON AG. SATURADOS

NORMA	: ASTM C192/NTP 339.183
TESIS	: Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño
TESISTA	: Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres
LABORAT.	: Universidad Nacional de Cajamarca
CANTERA	: La Victoria - Rio Chonta
f'c	: 210 Kg/cm ² (28 días)
SLUMP	: 3.5"

Esta foto muestra los moldes engrasados con aceite para evitar la adherencia del concreto.



Vemos el llenado de los moldes metálicos con el concreto elaborado de la mezcla.



En la foto se ve los golpes con el combo de goma para acomodar el concreto dentro del molde.



El acabado final o pulido en la parte superior del espécimen de concreto se realiza minutos después de realizada la mezcla



Desmoldado de los especímenes con la Mezcla Diseño

DESMOLDADO Y CURADO DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO – MEZCLA DE DISEÑO CON AGREGADOS SATURADOS.

NORMA : ASTM C192/NTP 339.183

TESIS : Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño

TESISTA : Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres

LABORAT. : Universidad Nacional de Cajamarca

CANTERA : La Victoria - Rio Chonta

f'c : 210 Kg/cm² (28 días)

SLUMP : 3.6"

El desmoldado se hizo el día siguiente de elaborados los especímenes



Con respecto al curado de los especímenes elaborados con agregados saturados, no se curaron convencionalmente, más bien se colocaron en tres condiciones diferentes:

-) A la intemperie, sin curado
-) Con curado externo, método de aspersión
-) Con curado externo, método de inmersión

La foto muestra los especímenes dejados a la intemperie (sin curado), a los cambios bruscos de temperatura, y sin ningún tipo de curado externo.



En esta otra foto se ve los especímenes que fueron curados por aspersión.



En la siguiente imagen se observa los especímenes que fueron expuestos a curado externo por método de inmersión.





ANEXO N: Ensayo de resistencia a compresión del concreto en la Máquina Universal de Compresión Axial

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO – MEZCLA DE DISEÑO CON AGREGADOS SATURADOS.

NORMA : NTP 339.034/ASTM C39

TESIS : Método de Curado Interno de Elementos de Concreto usando Agregados en su Condición de Saturados con Humedad Superficial para alcanzar su Resistencia a Compresión de Diseño

TESISTA : Bach. Ing. Juan Carlos Santa Cruz Cáceres

LABORAT. : Universidad Nacional de Cajamarca

CANTERA : La Victoria - Rio Chonta

f'c : 210 Kg/cm² (28 días)

SLUMP : 3.6"

Los especímenes de la Mezcla de Diseño con agregados saturados se probaron a las edades de 7 días, 14 días y 28 días, en grupos de 19, 19 y 22 unidades respectivamente.

Antes de realizar la prueba de compresión en la Máquina Universal de Compresión Axial, se tomó toda la información física de cada espécimen de concreto (pesos y medidas).

Los especímenes se encontraban en estado saturado superficialmente seco en el momento de la prueba.



En la fotografía se puede apreciar un espécimen que se está pesando en la balanza electrónica para tener las propiedades del concreto endurecido a los 7 días.



Utilizando un Vernier se tomó las medidas de diámetro y altura de cada espécimen de concreto que se iba a probar.



Se puede observar la colocación del espécimen de concreto en la Máquina Universal de Compresión Axial, con las respectivas almohadillas de neopreno en la base y en la cabecera del espécimen.



Se puede observar la colocación del espécimen de concreto en la Máquina Universal de Compresión Axial, con las respectivas almohadillas de neopreno en la base y en la cabecera del espécimen.



El instrumento que se ve en la foto es el deformímetro, colocado en la máquina universal de compresión para medir las deformaciones que se producen en el elemento por cada unidad de tiempo.



Una vez colocado y ajustado el espécimen y el deformímetro y una vez que la máquina a cargado y calentado, se procede a la aplicación de carga sobre el elemento de concreto y se registran las lecturas del deformímetro.



Cuando el elemento o espécimen falla, se deja de aplicar la carga y se observa el tipo de falla del elemento.



Las agujas de la máquina registran la carga aplicada en la que el elemento ha dejado de resistir y ha fallado.



**Prueba de resistencia por edades de la Mezcla Patrón**

MEZCLA PATRÓN					
14 DÍAS		7 DÍAS		28 DÍAS	
Espécimen	Resistencia KG /CM2	Espécimen	Resistencia KG /CM2	Espécimen	Resistencia KG /CM2
P1	101.451	P1	101.584	P1	154.204
P2	96.314	P2	93.255	P2	161.454
P3	90.335	P3	84.943	P3	159.554
P4	93.255	P4	71.524	P4	164.839
P5	96.282	P5	66.240	P5	156.084
P6	90.840	P6	60.124	P6	156.391
P7	99.196	P7	76.950	P7	199.178
P8	109.138	P8	68.683	P8	209.070
P9	151.650	P9	66.001	P9	207.703
P10	162.572	P10	123.182	P10	209.759
P11	148.063	P11	130.370	P11	206.319
P12	142.346	P12	130.588	P12	208.727
P13	144.042	P13	137.095	P13	198.002
P14	188.943	P14	137.411	P14	213.518
P15	181.561	P15	134.751	P15	212.170
P16	184.615	P16	151.202	P16	214.079
P17	183.467	P17	140.159	P17	216.540
P18	181.382	P18	142.532	P18	217.609
P19	192.375	P19	148.794	P19	214.009
P20	185.718	P20	140.297		
		P21	141.130		

Nota: Elaboración propia. Leyenda: azul = sin curado; amarillo = por aspersion y verde = por inmersión.



Prueba de resistencia por edades de la Mezcla Diseño

MEZCLA DISEÑO					
7 DÍAS		14 DÍAS		28 DÍAS	
Espécimen	Resistencia KG /CM2	Espécimen	Resistencia KG /CM2	Espécimen	Resistencia KG /CM2
D1	123.994	D1	162.044	D1	215.637
D2	126.441	D2	136.759	D2	210.369
D3	107.741	D3	138.064	D3	218.067
D4	106.554	D4	166.871	D4	227.682
D5	122.751	D5	150.842	D5	219.047
D6	122.465	D6	140.037	D6	212.249
D7	156.803	D7	205.643	D7	208.882
D8	148.306	D8	192.186	D8	230.699
D9	173.479	D9	203.569	D9	239.173
D10	162.839	D10	191.619	D10	231.154
D11	157.319	D11	191.556	D11	242.480
D12	151.053	D12	203.635	D12	233.598
D13	160.079	D13	197.353	D13	231.078
D14	160.079	D14	203.569	D14	239.803
D15	155.777	D15	213.799	D15	244.350
D16	170.277	D16	200.488	D16	236.191
D17	148.063	D17	205.576	D17	242.241
D18	154.559	D18	193.341	D18	218.993
D19	162.305	D19	198.067	D19	235.418
				D20	233.906
				D21	245.639
				D22	243.681

Nota: Elaboración propia. Leyenda: azul = sin curado; amarillo = por aspersion y verde = por inmersión

