

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



TESIS

**“INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL ADITIVO
ACELERANTE DE RESISTENCIA TEMPRANA EN LAS
PROPIEDADES DEL CONCRETO”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

JORGE LUIS HUARACA GAMBOA

ASESOR

ING. RAFAEL CACHAY HUAMÁN

Lima - Perú

2021

DEDICATORIA

A mi padre Martin y mi madre Ayde que siempre han estado a mi lado apoyándome y que forjaron en mí valores, principios y la perseverancia para poder lograr mis objetivos, muchos de mis logros se los debo a ellos. Sus mayores anhelos son ver a sus hijos convertidos en personas de bien.

AGRADECIMIENTOS

A todos mis amigos, a las personas que ayudaron a mi desarrollo profesional.

Especialmente a mi asesor el Ing. Rafael Cachay Huamán por sus consejos, orientación, dedicación y apoyo en general en la elaboración de la presente tesis.

INDICE

RESUMEN	5
ABSTRACT	8
PRÓLOGO	11
LISTA DE TABLAS	12
LISTA DE FIGURAS	17
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	21
Capítulo I : INTRODUCCIÓN	23
1.1 GENERALIDADES.....	23
1.2 PROBLEMÁTICA.....	23
1.3 OBJETIVOS.....	24
1.3.1 Objetivo General	24
1.3.2 Objetivo Específico	24
1.4 HIPÓTESIS.....	24
Capítulo II : FUNDAMENTO TEÓRICO	26
2.1 CEMENTO	26
2.1.1 Generalidades.....	26
2.1.2 Cemento Portland	27
2.1.3 Composición química del cemento portland	27
2.1.4 Proceso de fabricación del cemento portland.....	29
2.1.5 Tipos de cemento portland.....	29
2.2 AGREGADOS.....	32
2.2.1 Análisis Granulométrico	35
2.2.2 Módulo de Finura	38
2.2.3 Peso Unitario	38
2.2.4 Peso Específico	39
2.2.5 Absorción.....	40
2.2.6 Contenido de Humedad	41

2.2.7	Máxima Compacidad de los agregados	41
2.3	AGUA PARA EL CONCRETO	42
2.3.1	Agua en el diseño de mezcla	42
2.3.2	Agua en el curado del concreto.....	43
2.4	ADITIVO	44
2.4.1	Aditivos aceleradores o acelerantes.....	45
2.4.2	Efectos de los aditivos acelerantes	48
2.4.3	Aditivo acelerante de fragua y resistencia sin cloruro "ACCELGUARD 100"	49
2.4.4	Aplicaciones del aditivo "ACCELGUARD 100"	50
2.4.5	Beneficios del aditivo "ACCELGUARD 100".....	50
2.5	RELACIÓN AGUA/CEMENTO (A/C).....	51
2.6	ENSAYOS EN EL CONCRETO	52
2.6.1	Ensayos en estado fresco	53
2.6.2	Ensayos en estado endurecido.....	56
2.7	DISPERSION DE DATOS DE LABORATORIO	60
Capítulo III : PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS		62
3.1	CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL .	62
3.2	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	63
3.2.1	Análisis granulométrico del agregado fino.....	63
3.2.2	Análisis granulométrico del agregado grueso.....	65
3.2.3	Análisis granulométrico de la combinación de agregados	67
3.3	P.U.C. DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS	68
3.4	PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	70
3.4.1	Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino	70
3.4.2	Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso	71
3.5	PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE HUMEDAD.....	72
3.5.1	Peso unitario y contenido de humedad del agregado fino	72

3.5.2	Peso unitario y contenido de humedad del agregado grueso	74
Capítulo IV : DISEÑO DE MEZCLA.....		76
4.1	PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE MEZCLA	76
4.1.1	Obtención de las propiedades físicas de los agregados.....	76
4.1.2	Proporción Arena Piedra	76
4.1.3	Relación a/c	76
4.1.4	Aire Atrapado en el concreto.....	77
4.1.5	Cantidad de cemento y agua	77
4.1.6	Pre-Diseño.....	78
4.1.7	Nomenclatura optada para los diseños de mezcla realizados	81
4.2	DISEÑO (A0) – 0% de aditivo	81
4.2.1	Diseño (A0) para la relación a/c = 0.45	82
4.2.2	Diseño (A0) para la relación a/c = 0.55	82
4.2.3	Diseño (A0) para la relación a/c = 0.65	82
4.3	DISEÑO (A1) – 1.20% de aditivo	83
4.3.1	Diseño (A1) con 1.20% de aditivo para la relación a/c=0.45.....	83
4.3.2	Diseño (A1) con 1.20% de aditivo para la relación a/c=0.55.....	83
4.3.3	Diseño (A1) con 1.20% de aditivo para la relación a/c=0.65.....	84
4.4	DISEÑO (A2) – 2.4% de aditivo	84
4.4.1	Diseño (A2) con 2.40% de aditivo para la relación a/c=0.45.....	85
4.4.2	Diseño (A2) con 2.40% de aditivo para la relación a/c=0.55.....	85
4.4.3	Diseño (A2) con 2.40% de aditivo para la relación a/c=0.65.....	85
Capítulo V : RESULTADOS OBTENIDOS		87
5.1	ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	87
5.1.1	Resultado del ensayo de Asentamiento (Slump).....	87
5.1.2	Resultado del ensayo de Peso Unitario.....	88
5.1.3	Ensayo de Contenido de Aire.....	89
5.1.4	Resultado del ensayo de Exudación	90

5.1.5	Resultado del ensayo de Tiempo de Fragua	95
5.2	ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	100
5.2.1	Ensayo de compresión.....	100
5.2.2	Ensayo de tracción por compresión diametral.....	109
Capítulo VI : ANÁLISIS DE RESULTADOS		112
6.1	ENSAYO DE ASENTAMIENTO (SLUMP).....	112
6.2	ENSAYO PESO UNITARIO	113
6.3	ENSAYO CONTENIDO DE AIRE.....	114
6.4	ENSAYO DE EXUDACIÓN DEL CONCRETO	115
6.5	ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA	117
6.5.1	Ensayo de tiempo de fragua para diseños con relación $a/c=0.45$	117
6.5.2	Ensayo de tiempo de fragua para diseños con relación $a/c=0.55$	121
6.5.3	Ensayo de tiempo de fragua para diseños con relación $a/c=0.65$	125
6.6	ENSAYO COMPRESIÓN DE PROBETAS.....	131
6.6.1	Probetas de Diseño (A0).....	131
6.6.2	Probetas de Diseño (A1).....	133
6.6.3	Probetas de Diseño (A2).....	136
6.6.4	Comparación de resultados $f'c$ vs Días	139
6.7	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL	144
6.7.1	Probetas de Diseño (A0), $a/c=0.55$	144
6.7.2	Probetas de Diseño (A1), $a/c=0.55$	145
6.7.3	Probetas de Diseño (A2), $a/c=0.55$	145
6.7.4	Comparación de resultados $f'c$ vs Días	146
CONCLUSIONES		149
RECOMENDACIONES.....		152
BIBLIOGRAFÍA.....		154
ANEXOS		157

RESUMEN

En la presente investigación se muestra el comportamiento del concreto utilizando aditivos acelerantes para estudiar su influencia en las principales propiedades en el concreto en estado fresco y endurecido. Se han planteado diferentes diseños: concreto patrón y concretos con aditivo acelerante de fragua y de resistencia para su análisis.

Se trasladaron los agregados al Laboratorio de Ensayos de Materiales para su almacenamiento y posterior ensayo. Para obtener las propiedades físicas del agregado, se realizaron los ensayos de análisis granulométrico, peso unitario, peso unitario compactado, peso específico, porcentaje de absorción y contenido de humedad siguiendo las recomendaciones descritas en las Normas Técnicas Peruanas de cada respectivo ensayo. Así mismo, mediante el PUC de la combinación de agregados, se determinó que la mejor proporción de arena y piedra, que logran una adecuada distribución de sus partículas al ser combinadas, es de 50% cada una. Se anexa, a la presente investigación, una galería de imágenes donde se describe el procedimiento de cada ensayo realizado.

Para el desarrollo del diseño de mezcla, se utilizaron las propiedades físicas de los agregados previamente calculadas y su porcentaje de participación (mejor proporción arena/piedra). Se determinó el porcentaje de aire atrapado en el concreto mediante la recomendación del ACI. Se realizaron los diseños considerando una cantidad inicial de agua y cemento para luego calcular los pesos de los demás componentes, una vez calculados los diseños se realizaron los ensayos en laboratorio dando por aceptado aquel diseño cuyo asentamiento estuvo en un rango de 3" a 5". Así mismo, se realizaron diferentes diseños de mezcla para el concreto patrón y con 1.20% y 2.40% de aditivo de acelerante de fragua y resistencia para las relaciones agua/cemento 0.45, 0.55 y 0.65.

Respecto a los resultados en estado fresco, los asentamientos fueron mayores para la relación $a/c = 0.65$, el Peso Unitario para diseños con la misma relación a/c utilizando aditivo acelerante de fragua y resistencia tienden a ser mayores respecto al diseño patrón, para diseños de mayor relación a/c se obtienen

mayores valores del porcentaje de Contenido de Aire, el porcentaje de exudación tiende a ser mayor conforme aumente la relación a/c . Respecto a los resultados obtenidos en el concreto en estado endurecido, se mencionan los más importantes, tiempo de fragua, roturas de probeta por compresión y tracción por compresión diametral. Para diseños con $a/c = 0.65$ se pudo reducir en más de una hora el fraguado inicial y final, respecto a la rotura de probetas por compresión las resistencias obtenidas a los 3 y 7 días se observa un incremento para aquellos diseños con aditivo y una disminución de resistencia a los 28 días respecto al diseño patrón. Así mismo, las probetas ensayadas a tracción por compresión diametral se observa un incremento en las resistencias a los 3 y 7 días y una disminución de resistencia a los 28 días respecto al diseño patrón.

Por último, se cumplieron con los objetivos y la hipótesis planteada en la presente investigación. El uso del aditivo logra acelerar las resistencias iniciales del concreto y permite un rápido fraguado favoreciendo principalmente su uso en climas fríos/heladas, ya que, evita el posible congelamiento de pequeñas cantidades agua en la mezcla de concreto. Así mismo, se logran diseños con menor cantidad de cemento y agua, cuyos resultados se pueden apreciar en el Capítulo VI: Análisis de resultados. Entre los principales resultados, se tienen:

- ✓ El ensayo de tiempo de fragua resultó ser menor para aquellos diseños de mezcla donde se utilizó el aditivo acelerante de fragua y de resistencia.
 - Para aquellos diseños donde la relación a/c fue de 0.45 se pudo reducir el fraguado inicial en 60 minutos y el fraguado final en 51 min.
 - Para aquellos diseños donde la relación a/c fue de 0.55 se pudo reducir el fraguado inicial en 51 minutos y el fraguado final en 52 min.
 - Para aquellos diseños donde la relación a/c fue de 0.65 se pudo reducir el fraguado inicial en 1 hora con 24 minutos y el fraguado final en 1 hora con 3 minutos.

- ✓ Respecto a la resistencia a la compresión, al hacer constante la relación a/c y variar el porcentaje de aditivo, se observa un incremento de la resistencia a los primeros días, además de una disminución de la resistencia final con respecto al del diseño patrón.

- Para la relación a/c de 0.45, la resistencia a la compresión en los diferentes diseños se incrementó en 6.01% y 8.82% a los 3 y 7 días respectivamente, y a los 28 días se redujo hasta en un 15.18%.
 - Para la relación a/c de 0.55, la resistencia a la compresión en los diferentes diseños se incrementó en 6.56% y 6.07% a los 3 y 7 días respectivamente, y a los 28 días se redujo hasta en un 12.72 %.
 - Para la relación a/c de 0.65, la resistencia a la compresión en los diferentes diseños se incrementó en 20.53% y 5.95% a los 3 y 7 días respectivamente, y a los 28 días se redujo hasta en un 7.92 %.
- ✓ En el caso de la tracción por compresión diametral, se planteó realizar solo diseños para la relación a/c de 0.55. Utilizando el aditivo de acelerante de fragua y resistencia se obtuvieron valores mayores a los primeros días respecto al diseño patrón, a diferencia de la resistencia final, que resultó ser menor. Se llegó a incrementar la resistencia a los 3 y 7 días en 13.74% y 5.80% respectivamente, y a los 28 días se redujo hasta en un 11.23%.

ABSTRACT

In this investigation I present the behavior of concrete using accelerating additives to study their influence on the main properties in concrete, in fresh and hardened state. Different designs have been proposed: standard concrete and concrete with forge accelerator and resistance additive for analysis.

The aggregates were moved to the Materials Testing Laboratory for storage and subsequent testing. To obtain the physical properties of the aggregate, the granulometric analysis tests, unit weight, compacted unit weight, specific weight, absorption percentage and moisture content were carried out following the recommendations described in the Peruvian Technical Standards of each respective test. Likewise, by means of the PUC of the combination of aggregates, it was determined that the best proportion of sand and stone, which achieved an adequate distribution of their particles when combined, is 50% each. To the present investigation an image gallery is attached where the procedure of each test carried out is described.

For the development of the mix design, the previously calculated physical properties of the aggregates and their participation percentage (best sand / stone ratio) were used. The percentage of air entrapped in the concrete was determined using the ACI recommendation. The designs were made considering an initial amount of water and cement to then calculate the weights of the other components. Once the designs were calculated, the laboratory tests were carried out, accepting that design whose settlement was in a range of 3 "to 5" . Likewise, different mix designs were made for the standard concrete and with 1.20% and 2.40% of forging accelerator additive and resistance for the water / cement ratios 0.45, 0.55 and 0.65.

For the results in fresh state, the settlements were higher for the ratio $a/c = 0.65$, the Unit Weight for designs with the same ratio a/c using forge accelerator additive and resistance tend to be higher with respect to the pattern design, for designs with a higher a/c ratio, higher values of the percentage of Air Content are obtained, the percentage of exudation tends to be higher as the a/c ratio increases. Regarding the results obtained in the concrete in the hardened state,

the most important ones are mentioned: setting time, specimen breaks by compression and traction by diametral compression. For designs with a / c = 0.65, the initial and final setting could be reduced by more than one hour, with respect to the rupture of specimens by compression, the strengths obtained at 3 and 7 days are observed an increase for those designs with additive and a decrease in resistance at 28 days compared to the standard design. Likewise, the specimens tested for diametral compression traction show an increase in strength at 3 and 7 days and a decrease in strength at 28 days compared to the standard design.

Finally, the objectives and the hypothesis raised in the this investigation were met. The use of the additive accelerates the initial strengths of the concrete and allows a setting, mainly favoring its use in cold / icy climates, since it avoids the possible freezing of small amounts of water in the concrete mix. Likewise, designs with less cement and water were achieved, the results of which can be seen in Chapter VI: Analysis of results. Among the main results are:

- ✓ The test for time was lower for those mix designs where the setting accelerator and strength additive was used.
 - For those designs where the a/c ratio was 0.45, the initial setting could be reduced in 60 minutes and the final setting in 51 min.
 - For those designs where the a/c ratio was 0.55, the initial setting could be reduced in 51 minutes and the final setting in 52 minutes.
 - For those designs where the a/c ratio was 0.65, the initial setting could be reduced in 1 hour and 24 minutes and the final setting in 1 hour and 3 minutes.

- ✓ For the compressive strength, by making the a/c ratio constant and the percentage of additive varies, an increase in resistance is observed in the first days, in addition to a decrease in final resistance with respect to the standard design.
 - For the a/c ratio of 0.45, the compressive strength in the different designs increased by 6.01% and 8.82% at 3 and 7 days respectively, and at 28 days it was reduced by up to 15.18%.

- For the a/c ratio of 0.55, the compressive strength in the different designs increased by 6.56% and 6.07% at 3 and 7 days respectively, and at 28 days it was reduced by up to 12.72%.
 - For the 0.65 a/c ratio, the compressive strength in the different designs increased by 20.53% and 5.95% at 3 and 7 days respectively, and at 28 days it was reduced by up to 7.92%.
- ✓ In the case of diametral compression traction, it was proposed to make only designs for the a/c ratio of 0.55. Using the forge accelerator and resistance additive, higher values were obtained in the first days with respect to the standard design, unlike the final resistance, which turned out to be lower. Resistance was increased at 3 and 7 days by 13.74% and 5.80% respectively, and at 28 days it was reduced by up to 11.23%.

PRÓLOGO

Los aditivos están siendo empleados en el mercado nacional desde los años 50 y hasta el día de hoy su uso es creciente. Permite adaptar las propiedades del concreto a cierta peculiaridad que se requiere en la construcción, tales como: clima extremo, alta resistencia inicial, fraguado rápido, entre otros.

Actualmente se cuenta con pocos estudios actualizados que evalúan las propiedades del concreto originadas por el uso del aditivo acelerante de fragua y resistencia, además de las dosificaciones de los diseños de mezcla usando estos tipos de aditivos.

En el desarrollo de la investigación se podrá apreciar los diferentes ensayos realizados para determinar las dosificaciones del concreto patrón, así como, la influencia que provoca el aditivo acelerante de fragua y resistencia en las diferentes propiedades del concreto, para determinadas relaciones de agua/cemento (0.45, 0.55 y 0.65) y como éstas varían al adicionarle diferentes cantidades de aditivo (0%, 1.2% y 2.4%).

Es por eso que el presente estudio ha tenido como objetivo realizar y analizar los efectos producidos en el concreto al utilizar específicamente un determinado aditivo acelerante de fragua y resistencia. Se podrá encontrar de manera extensa los datos registrados en laboratorio, además de gráficos, tablas, imágenes y del análisis de estos resultados.

Se busca contribuir a la investigación e incentivar para que más profesionales aporten estudios relaciones al sector de la construcción.

Ing. Rafael Cachay Huamán

Asesor

LISTA DE TABLAS

Tabla N° II.1. Componentes químicos del cemento portland.....	27
Tabla N° II.2. Proporciones Típicas de los componentes óxidos del cemento portland.	28
Tabla N° II.3. Compuestos químicos del Clinker.	28
Tabla N° II.4. Normas Técnicas Peruanas del cemento	30
Tabla N° II.5. Propiedades físicas y químicas del Cemento Sol Tipo I.	32
Tabla N° II.6. Ensayos a realizar para las propiedades físicas del agregado fino.	33
Tabla N° II.7. Ensayos a realizar para las propiedades físicas del agregado grueso.	34
Tabla N° II.8. Límites granulométricos del agregado fino.	36
Tabla N° II.9. Límites granulométricos del agregado grueso.	37
Tabla N° II.10. Peso Unitario Compactado de la combinación de agregados, datos obtenidos en laboratorio.....	42
Tabla N° II.11. Normas técnicas relacionadas al uso del agua.....	43
Tabla N° II.12. Normas técnicas curado de concreto.	44
Tabla N° II.13. Resistencia del concreto y relación a/c.....	52
Tabla N° II.14. Normas técnicas de los ensayos del concreto en estado fresco.	52
Tabla N° II.15. Normas técnicas de los ensayos del concreto en estado endurecido.....	52
Tabla N° II.16. Recomendación del asentamiento por tipo de elemento.	53
Tabla N° II.17. Edad del ensayo resistencia a la compresión.....	57
Tabla N° II.18. Tabla de corrección de resistencias.	59
Tabla N° II.19. Control estándar del concreto en base al coeficiente de variación.	61
Tabla N° III.1. Propiedades físicas del agregado fino.....	62
Tabla N° III.2. Propiedades físicas del agregado grueso.....	62
Tabla N° III.3. Propiedades del agregado global.	63
Tabla N° III.4. Ensayo de granulometría para el agregado fino.	63
Tabla N° III.5. Ensayo de granulometría para el agregado grueso.	65
Tabla N° III.6. Granulometría de la combinación de agregados.	67
Tabla N° III.7. Peso Unitario Compactado de la combinación de agregados.....	69
Tabla N° III.8. Peso Específico y porcentaje de absorción agregado fino.....	70
Tabla N° III.9. Peso Específico y porcentaje de absorción agregado grueso.	71

Tabla N° III.10. Peso Unitario Suelto del agregado fino.	72
Tabla N° III.11. Peso Unitario Compactado del agregado fino.	73
Tabla N° III.12. Contenido de Humedad del agregado fino.	74
Tabla N° III.13. Peso Unitario Suelto del agregado grueso.	74
Tabla N° III.14. Peso Unitario Compactado del agregado grueso.	74
Tabla N° III.15. Contenido de Humedad del agregado grueso.	75
Tabla N° IV.1. Propiedades físicas del agregado fino y grueso.	76
Tabla N° IV.2. Determinación del contenido de aire para el diseño de mezcla. ...	77
Tabla N° IV.3. Pre-diseño para 1 m ³	78
Tabla N° IV.4. Cálculo de la cantidad de arena y piedra.	78
Tabla N° IV.5. Proporción del diseño de mezcla para 1 m ³	79
Tabla N° IV.6. Cantidad de agua y cemento (dosificación seca) para la relación a/c de 0.45.	80
Tabla N° IV.7. Nomenclatura del diseño de mezcla.	81
Tabla N° IV.8. Diseño patrón (A0), a/c = 0.45.	82
Tabla N° IV.9. Diseño patrón (A0), a/c = 0.55.	82
Tabla N° IV.10. Diseño patrón (A0), a/c = 0.65.	82
Tabla N° IV.11. Diseño de mezcla (A1), a/c = 0.45.	83
Tabla N° IV.12. Diseño de mezcla (A1), a/c = 0.55.	84
Tabla N° IV.13. Diseño de mezcla (A1), a/c = 0.65.	84
Tabla N° IV.14. Diseño de mezcla (A2), a/c = 0.45.	85
Tabla N° IV.15. Diseño de mezcla (A2), a/c = 0.55.	85
Tabla N° IV.16. Diseño de mezcla (A2), a/c = 0.65.	86
Tabla N° V.1. Ensayo de Asentamiento (Slump).	87
Tabla N° V.2. Ensayo de Peso Unitario.	88
Tabla N° V.3. Ensayo Contenido de Aire obtenido.	89
Tabla N° V.4. Ensayo de exudación del diseño (A0), a/c = 0.45.	90
Tabla N° V.5. Ensayo de exudación del diseño (A1), a/c = 0.45.	91
Tabla N° V.6. Ensayo de exudación del diseño (A2), a/c = 0.45.	91
Tabla N° V.7. Ensayo de exudación del diseño (A0), a/c = 0.55.	92
Tabla N° V.8. Ensayo de exudación del diseño (A1), a/c = 0.55.	92
Tabla N° V.9. Ensayo de exudación del diseño (A2), a/c = 0.55.	93
Tabla N° V.10. Ensayo de exudación del diseño (A0), a/c = 0.65.	93
Tabla N° V.11. Ensayo de exudación del diseño (A1), a/c = 0.65.	94
Tabla N° V.12. Ensayo de exudación del diseño (A2), a/c = 0.65.	94

Tabla N° V.13. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A0), $a/c = 0.45$	95
Tabla N° V.14. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A1), $a/c = 0.45$	96
Tabla N° V.15. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A2), $a/c = 0.45$	96
Tabla N° V.16. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A0), $a/c = 0.55$	97
Tabla N° V.17. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A1), $a/c = 0.55$	97
Tabla N° V.18. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A2), $a/c = 0.55$	98
Tabla N° V.19. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A0), $a/c = 0.65$	99
Tabla N° V.20. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A1), $a/c = 0.65$	99
Tabla N° V.21. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A2), $a/c = 0.65$	100
Tabla N° V.22. Simbología del diseño de mezcla.....	100
Tabla N° V.23. Rotura de probetas (A0), $a/c=0.45$	101
Tabla N° V.24. Rotura de probetas (A0), $a/c=0.55$	102
Tabla N° V.25. Rotura de probetas (A0), $a/c=0.65$	103
Tabla N° V.26. Rotura de probetas (A1), $a/c=0.45$	103
Tabla N° V.27. Rotura de probetas (A1), $a/c=0.55$	104
Tabla N° V.28. Rotura de probetas (A1), $a/c=0.65$	105
Tabla N° V.29. Rotura de probetas (A2), $a/c=0.45$	106
Tabla N° V.30. Rotura de probetas (A2), $a/c=0.55$	106
Tabla N° V.31. Rotura de probetas (A2), $a/c=0.65$	107
Tabla N° V.32. Simbología del diseño de mezcla.....	109
Tabla N° V.33. Rotura de probetas (A0) a compresión diametral, $a/c=0.55$	110
Tabla N° V.34. Rotura de probetas (A1) a compresión diametral, $a/c=0.55$	110
Tabla N° V.35. Rotura de probetas (A2) a compresión diametral, $a/c=0.55$	111
Tabla N° VI.1. Resumen de los Pesos Unitarios obtenidos.	113
Tabla N° VI.2. %Exudación en función de la relación a/c y del diseño.	115
Tabla N° VI.3. Resistencia a la penetración del diseño patrón (A0).	117
Tabla N° VI.4. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A0).....	118
Tabla N° VI.5. Resistencia a la penetración del diseño (A1).	118
Tabla N° VI.6. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A1).....	119
Tabla N° VI.7. Resistencia a la penetración del diseño (A2).	119
Tabla N° VI.8. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A2).....	120
Tabla N° VI.9. Fragua Inicial y Fragua Final para la relación $a/c = 0.45$	120
Tabla N° VI.10. Resistencia a la penetración del diseño (A0).	121
Tabla N° VI.11. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A0).....	122
Tabla N° VI.12. Resistencia a la penetración del diseño (A1).	122

Tabla N° VI.13. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A1).....	123
Tabla N° VI.14. Resistencia a la penetración del diseño (A2).	123
Tabla N° VI.15. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A2).....	124
Tabla N° VI.16. Fragua Inicial y Fragua Final para la relación $a/c = 0.55$	124
Tabla N° VI.17. Resistencia a la penetración del diseño (A0).	125
Tabla N° VI.18. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A0).....	126
Tabla N° VI.19. Resistencia a la penetración del diseño (A1).	126
Tabla N° VI.20. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A1).....	127
Tabla N° VI.21. Resistencia a la penetración del diseño (A2).	127
Tabla N° VI.22. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A2).....	128
Tabla N° VI.23. Fragua Inicial y Fragua Final para la relación $a/c = 0.65$	128
Tabla N° VI.24. Resistencia de probetas (A0), $a/c=0.45$	131
Tabla N° VI.25. Resultados estadísticos (A0), $a/c = 0.45$	132
Tabla N° VI.26. Resistencia de probetas (A0), $a/c=0.55$	132
Tabla N° VI.27. Resultados estadísticos (A0), $a/c = 0.55$	132
Tabla N° VI.28. Resistencia de probetas (A0), $a/c=0.65$	133
Tabla N° VI.29. Resultados estadísticos (aA0), $a/c = 0.65$	133
Tabla N° VI.30. Resistencia de probetas (A1), $a/c=0.45$	134
Tabla N° VI.31. Resultados estadísticos (A1), $a/c = 0.45$	134
Tabla N° VI.32. Resistencia de probetas (A1), $a/c=0.55$	135
Tabla N° VI.33. Resultados estadísticos (A1), $a/c = 0.55$	135
Tabla N° VI.34. Resistencia de probetas (A1), $a/c=0.65$	136
Tabla N° VI.35. Resultados estadísticos (A1), $a/c = 0.65$	136
Tabla N° VI.36. Resistencia de probetas (A2), $a/c=0.45$	137
Tabla N° VI.37. Resultados estadísticos (A2), $a/c=0.45$	137
Tabla N° VI.38. Resistencia de probetas (A2), $a/c=0.55$	138
Tabla N° VI.39. Resultados estadísticos (A2), $a/c=0.55$	138
Tabla N° VI.40. Resistencia de probetas (A2), $a/c=0.65$	138
Tabla N° VI.41. Resultados estadísticos (A2), $a/c = 0.65$	139
Tabla N° VI.42. Resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días.....	139
Tabla N° VI.43. Resistencia a la compresión diametral (A0), $a/c=0.55$	144
Tabla N° VI.44. Resultados estadísticos, diseño (A0).	144
Tabla N° VI.45. Resistencia a la compresión diametral (A1), $a/c=0.55$	145
Tabla N° VI.46. Resultados estadísticos, diseño (A1).	145
Tabla N° VI.47. Resistencia a la compresión diametral (A2), $a/c=0.55$	146

Tabla N° VI.48. Resultados estadísticos, diseño (A2).....	146
Tabla N° VI.49. Resistencia a la compresión diametral a los 3, 7 y 28 días.	146
Tabla N° VI.50. Resultado de los ensayos realizados.....	148

ANEXO

Tabla A. 1. Análisis de costo (en laboratorio) para la relación a/c = 0.45.	179
Tabla A. 2. Análisis de costo (en laboratorio) para la relación a/c = 0.55.	179
Tabla A. 3. Análisis de costo (en laboratorio) para la relación a/c = 0.65.	180

LISTA DE FIGURAS

Figura N° II.1. Esquema del proceso de fabricación del cemento.	29
Figura N° II.2. Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto.....	33
Figura N° II.3. Ensayo Máxima Compacidad, datos obtenidos en laboratorio. ...	42
Figura N° II.4. Diseños con el mismo slump y diferentes proporciones de arena/piedra	54
Figura N° II.5. Cálculo del porcentaje de exudación.....	55
Figura N° II.6. Tipos de falla en las probetas	57
Figura N° II.7. Esquema del ensayo de compresión diametral.....	59
Figura N° II.8. Cálculo de la resistencia a la tracción indirecta.....	60
Figura N° III.1. Curva granulométrica del agregado fino.....	64
Figura N° III.2. Ensayo análisis granulométrico agregado fino.	65
Figura N° III.3. Curva granulométrica del agregado grueso.....	66
Figura N° III.4. Muestra de agregado grueso.	67
Figura N° III.5. Curva granulométrica del agregado global.....	68
Figura N° III.6. P.U.C. del agregado global vs % Peso Agregado Grueso.....	69
Figura N° III.7. Ensayo P.U.C. de la combinación de agregados.	70
Figura N° III.8. Determinación peso específico del agregado fino.	71
Figura N° III.9. Determinación peso específico del agregado grueso.....	72
Figura N° III.10. Muestra Peso Unitario Compactado.....	73
Figura N° III.11. Muestra Peso Unitario del agregado grueso.	75
Figura N° IV.1. Relación Asentamiento y Cantidad de Agua para $a/c=0.45$	80
Figura N° IV.2. Muestras de probetas de 0.10x0.20 m.....	86
Figura N° V.1. Ensayo de Asentamiento (slump).	88
Figura N° V.2. Ensayo de Peso unitario.....	89
Figura N° V.3. Ensayo Contenido de Aire, equipo Washington.	90
Figura N° V.4. Ensayo de compresión.	108
Figura N° V.5. Resultado de la probeta roturada.....	108
Figura N° VI.1. Variación del Asentamiento para los diferentes diseños realizados.....	112
Figura N° VI.2. Variación del Peso Unitario para los diferentes diseños realizados.....	113
Figura N° VI.3. Variación del Contenido de Aire para los diferentes diseños realizados.....	114

Figura N° VI.4. Variación del %Exudación en función de la relación a/c para los diferentes diseños.....	116
Figura N° VI.5. Variación del %Exudación en función del %Aditivo.....	116
Figura N° VI.6. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A0).....	117
Figura N° VI.7. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A1).....	118
Figura N° VI.8. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A2).....	119
Figura N° VI.9. Variación del tiempo de fragua, a/c = 0.45.....	120
Figura N° VI.10. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A0).....	121
Figura N° VI.11. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A1).....	122
Figura N° VI.12. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A2).....	123
Figura N° VI.13. Variación del tiempo de fragua, a/c = 0.55.....	124
Figura N° VI.14. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A0).....	126
Figura N° VI.15. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A1).....	127
Figura N° VI.16. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A2).....	128
Figura N° VI.17. Tiempo vs Resistencia a la penetración, a/c=0.65.	128
Figura N° VI.18. Tiempo vs Resistencia a la penetración (A0).	129
Figura N° VI.19. Tiempo vs Resistencia a la penetración (A1).	130
Figura N° VI.20. Tiempo vs Resistencia a la penetración (A2).	130
Figura N° VI.21. Variación de la resistencia para las diferentes relaciones a/c, diseño A0.....	140
Figura N° VI.22. Variación de la resistencia para las diferentes relaciones a/c, diseño A1.....	141
Figura N° VI.23. Variación de la resistencia para las diferentes relaciones a/c, diseño A2.....	141
Figura N° VI.24. Variación de la resistencia a la compresión para los diferentes diseños, a/c = 0.45.	142
Figura N° VI.25. Variación de la resistencia a la compresión para los diferentes diseños, a/c = 0.55.	143
Figura N° VI.26. Variación de la resistencia a la compresión para los diferentes diseños, a/c = 0.65.	143
Figura N° VI.27. Variación de la resistencia a la compresión diametral para los diferentes diseños, a/c = 0.55.	147
ANEXO	
Figura A. 1. Ensayo de Granulometría, agregado fino.	160
Figura A. 2. Ensayo de Granulometría, agregado grueso.	160

Figura A. 3. Datos de la granulometría del agregado grueso obtenidos en el laboratorio.....	161
Figura A. 4. Datos de la granulometría del agregado fino obtenidos en el laboratorio.....	161
Figura A. 5. Balanza hidrostática para el cálculo del peso de la muestra saturada en agua.	161
Figura A. 6. Datos obtenidos en el laboratorio para el cálculo del Peso Específico y el porcentaje de absorción.	162
Figura A. 7. Calentamiento de la muestra del agregado fino para determinar su Peso Específico.....	162
Figura A. 8. Expulsión del contenido de aire de la muestra del agregado fino en el picnómetro para determinar su Peso Específico.	163
Figura A. 9. Resultados obtenidos para el cálculo del Peso Específico y el Porcentaje de Absorción.....	164
Figura A. 10. Cuarteo del agregado grueso para realizar el ensayo de Peso Unitario.	164
Figura A. 11. Ensayo de Peso Unitario del agregado grueso.....	165
Figura A. 12. Cuarteo del agregado fino para realizar el ensayo de Peso Unitario.	165
Figura A. 13. Ensayo de Peso Unitario del agregado fino.	166
Figura A. 14. Equipo de Cono de Abraham y herramientas adicionales.....	167
Figura A. 15. Ensayo de Cono de Abraham.....	168
Figura A. 16. Medición del asentamiento.....	168
Figura A. 17. Equipo para la realización del ensayo de Peso unitario.	168
Figura A. 18. Medición del asentamiento.	169
Figura A. 19. Ensayo de Peso unitario.....	169
Figura A. 20. Peso del Recipiente vacío.	169
Figura A. 21. Elaboración de la mezcla de concreto.	170
Figura A. 22. Traslado de la mezcla al lugar del ensayo.	170
Figura A. 23. Equipo Washington.	170
Figura A. 24. Elementos adicionales para el ensayo de contenido de aire.....	170
Figura A. 25. Muestra para el ensayo de contenido de aire.	171
Figura A. 26. Ensayo de contenido de aire, equipo Washington.	172
Figura A. 27. Equipo para la medición de la exudación.	172
Figura A. 28. Muestra para la medición de la exudación.....	173

Figura A. 29. Ensayo exudación.	173
Figura A. 30. Muestra para el ensayo de tiempo de fragua.	174
Figura A. 31. Equipo para el ensayo de tiempo de fragua, Penetrómetro.	175
Figura A. 32. Ensayo de tiempo de fragua.	175
Figura A. 33. Elaboración de probetas.	176
Figura A. 34. Probetas debidamente identificadas.	176
Figura A. 35. Proceso de curado de las muestras de probetas.	176
Figura A. 36. Colocación de probetas en el equipo de compresión.	177
Figura A. 37. Ensayo de rotura de probetas.	177
Figura A. 38. Modo de rotura de un testigo.	177
Figura A. 39. Resultado directo de la rotura del testigo en el equipo de compresión.	177
Figura A. 40. Colocación del testigo.	178
Figura A. 41. Ensayo por compresión diametral.	178
Figura A. 42. Rotura de un testigo en el ensayo por compresión diametral.	178
Figura A. 43. Resultado directo del ensayo.	178
Figura A. 44. Variación del costo de concreto para los diferentes diseños realizados.	181

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

% Ret. Acum.	: Porcentaje Retenido Acumulado.
% Ret. Combi.	: Porcentaje Retenido Combinado.
% Ret.	: Porcentaje Retenido.
%Abs.	: Porcentaje de Absorción.
%C.H.	: Porcentaje de Contenido de Humedad.
ACI	: American Concrete Institute.
ASTM	: American Society for Testing and Materials.
bl	: Bolsa.
D.U.O.	: Diseño Unitario Obra.
D.U.S.	: Diseño Unitario Seco.
D _s	: Desviación estándar.
f'c	: Resistencia a la compresión.
f'c _{máx}	: Resistencia a la compresión máxima.
f'c _{mín}	: Resistencia a la compresión mínima.
f _t	: Resistencia a la tracción por compresión diametral.
gr	: Gramo.
kg	: Kilogramo.
L.E.M.	: Laboratorio de Ensayo de Materiales.
lt	: Litro.
M.F.	: Modulo de Finura.
m ³	: Metro cúbico.
ml	: Mililitros.
mm	: Milímetro.
Mpa	: Megapascal (10 ⁶ Pascal)
N	: Newton.
NTP	: Norma Técnica Peruana.
P.U.	: Peso Unitario.
P.U.C.	: Peso Unitario Compactado.
P.U.S.	: Peso Unitario Suelto.
PEA	: Peso Específico Aparente
PEM	: Peso Específico de masa
PESSS	: Peso Específico de masa saturado superficialmente seco
psi	: Pounds-force per square inch (libra de fuerza por pulgada cuadrada, lbf/in ²)

pulg.	: Pulgada.
Ret.	: Retenido.
T.N.M.	: Tamaño Nominal Máximo.
Vol. Ab.	: Volumen absoluto.
µm	: Micrómetro.

CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Hoy en día en el mercado nacional las empresas comercializan concretos premezclados con diferentes características (resistencia a la compresión, tiempo de fraguado, trabajabilidad, entre otros). Existen concretos que son comercializados con la finalidad de obtener secado rápido y resistencias tempranas (mediante uso de aditivos). Así como también investigaciones como la tesis “Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsílíce y nanosílíce con cemento portland tipo I” del Ing. Edher Huincho (2011), que estudia la alta resistencia del concreto.

Por lo expuesto, actualmente existen trabajos de investigación que realizan el estudio de las propiedades del concreto a edades tempranas, sin embargo, no todas son de fácil acceso al público; existe por tanto una falta de investigación actualizada de este tipo de trabajos.

1.2 PROBLEMÁTICA

Actualmente en el medio local se realiza el vaciado de concretos producidos en la misma obra o mediante la compra y posterior colocado de concreto premezclado, las empresas que proporcionan concretos premezclados ofertan productos de diferentes características tanto en resistencias finales como en propiedades en estado fresco, normalmente modificando la fragua y resistencias, es en este contexto que se plantea el análisis de la variación generada en el concreto por un aditivo que acelera la resistencia a la compresión a edades tempranas. Se tiene en cuenta que las empresas proporcionan el concreto premezclado, pero no es costumbre proporcionar (al consumidor) los estudios realizados, lo cual genera que haya poca información actualizada sobre este tipo de estudios.

Debido a que no son muy conocidas las dosificaciones de concretos usando aditivos acelerantes de resistencia temprana se plantea una metodología para poder determinarlas.

En la presente investigación se realizará un análisis de los agregados a fin de obtener sus propiedades físicas, características que contribuyen al diseño de concreto, así mismo, se determinarán las principales propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

Se realizarán una serie de pruebas en el concreto para determinar una dosificación que logre proporcionar una resistencia estándar la que se usará como concreto patrón o muestra de comparación.

Se prepararán concretos para relaciones a/c de 0.45, 0.55 y 0.65, para lo cual se probarán diferentes dosificaciones del aditivo con la finalidad de estudiar el comportamiento de la muestra en cada una de ellas. Se plantea estudiar diversas proporciones a fin de determinar la dosis óptima de aditivo

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

- Determinar la variación de las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto patrón, empleando para ello un aditivo acelerante de resistencia en diferentes proporciones y modificando la relación agua/cemento.

1.3.2 Objetivo Específico

- Evaluar la variación en el tiempo de fragua del concreto.
- Evaluar la variación en la resistencia del concreto.
- Evaluar la variación de la cantidad de agua del concreto.

1.4 HIPÓTESIS

En el presente trabajo se realizarán una serie de ensayos con la finalidad de obtener dosificaciones de concretos, empleando para ello diferentes proporciones de aditivo. En base a lo cual se plantea lo siguiente:

El aditivo acelerante de resistencias tempranas genera un impacto positivo en las propiedades del concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido.

Para ello, se identificaron las variables que intervienen en el desarrollo de la investigación: dependientes, independientes y variables de control.

a) Variable dependiendo: Es aquella variable cuyo valor depende de la magnitud que adopta la variable independiente en la investigación. Se tiene las siguientes variables dependientes:

- Peso Unitario
- Contenido de Aire.
- Exudación.
- Tiempo de Fragua.
- Resistencia a la compresión.
- Compresión diametral.

b) Variable independiente: Son aquellas variables que se establecen en la investigación y que al modificar su magnitud modifican el valor de las variables dependientes. Se establecieron las siguientes variables independientes:

- Aditivo (0%, 1.20%, 2.40%)
- Relación a/c (0.45, 0.55, 0.65)

c) Variables de Control: Son aquellas variables que se mantienen constantes, tal que no afecte la forma en que la variable independiente altere a la variable dependiente. Es el eje principal sobre el cual gira todo el control de la investigación, para lo cual se debe mantener el rango de valor establecido y/o la frecuencia de ensayo de las variables de control. Se establecieron las siguientes variables:

- Asentamiento entre 3" a 5".
- Edad o madurez de ensayo del concreto endurecido (3, 7 y 28 días)

CAPÍTULO II : FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 CEMENTO

2.1.1 Generalidades

“El primer registro del uso de concreto en los tiempos modernos, se remonta a 1760 cuando, en Inglaterra, John Smeaton descubrió, mientras proyectaba el faro Eddystone, que una mezcla de caliza calcinada y arcilla daba lugar a un conglomerante hidráulico resistente al agua. En 1824, Joseph Aspdin elaboró cemento mezclando arcilla y caliza de diferentes canteras y calentándolas en un horno. El concreto obtenido con este aglomerante se asemejaba a las piedras propias de la isla de Portland, al sur de Inglaterra, motivo por el cual se le llamó cemento Portland” (Harmsen, 2002).

“Es en 1845 cuando se desarrolla el procedimiento industrial del cemento Portland moderno que con algunas variantes persiste hasta nuestros días y que consiste en moler rocas calcáreas con rocas arcillosas en cierta composición y someter este polvo a temperaturas sobre los 1300 °C produciéndose lo que se denomina clinker, constituido por bolas endurecidas de diferentes diámetros, que finalmente se muelen añadiéndoseles yeso para tener como producto definitivo un polvo sumamente fino” (Pasquel, 1998).

“En el Perú, los primeros barriles de cemento llegaron en 1850. El concreto con él elaborado se usó para la construcción de cimentaciones y para mejorar los acabados de las estructuras. Posteriormente, se utilizó en combinación con acero para la construcción de edificios, puentes, acueductos, entre otros” (Harmsen, 2002).

Durante 1915, la compañía Foundation Co. trajo al Perú los primeros hornos para la fabricación del cemento pudiendo así ejecutar diferentes proyectos en Lima, con lo cual se iniciaron los primeros trabajos usando concreto local. Al año siguiente, estos hornos fueron comprados por la Compañía Peruana Cemento Portland.

A partir de los años 50, se implantó en Lima la primera empresa de concreto premezclado. Desde esa fecha, se constituyeron numerosas empresas productoras de cemento y relacionadas al rubro de la tecnología del concreto premezclado.

En la actualidad se marca una gran diferencia en el uso del concreto, ahora hay mayor facilidad de poder adaptar sus propiedades a las condiciones y exigencias donde se requiera emplear.

2.1.2 Cemento Portland

El cemento portland proviene de la pulverización del Clinker con la adición de sulfato de calcio (yeso) el cual, en una cantidad determinada, permite regular su fraguado, obteniendo como producto final un polvo fino.

El Clinker es una mezcla de materias primas, tales como las calizas y arcillas, calcinadas a altas temperaturas (entre 1350 °C a 1450 °C aproximadamente), el cual deberá de enfriarse para ser molido y combinarse con el yeso produciendo así el cemento portland.

2.1.3 Composición química del cemento portland

El cemento es el material principal en la elaboración del concreto, está compuesto por varios elementos, como por ejemplo: Oxido de calcio (CaO) aportado por la cal, Dióxido de silicio (SiO₂) el cual se encuentra en la arcilla junto con el óxido de aluminio (Al₂O₃) y el óxido de hierro (Fe₂O₃), así mismo, la adición del yeso ayuda a regular su fraguado. A continuación, se menciona los componentes químicos principales del cemento portland:

Tabla N° II.1. Componentes químicos del cemento portland.

Porcentaje	Componente Químico	Procedencia Usual
95 %	Óxido de Calcio (CaO)	Roca Calizas
	Óxido de Sílice (SiO ₂)	Areniscas
	Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcillas
	Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	Arcillas, Mineral de Hierro, Pirita
5 %	Óxidos de Magnesio, Sodio	Minerales Varios
	Potasio, Titanio, Azufre	
	Fósforo y Manganeso	

Fuente: (Pasquel, 1998) "Tópicos de tecnología del concreto en el Perú"

También se conoce algunos porcentajes típicos de los componentes óxidos que suelen intervenir en el cemento portland.

Tabla N° II.2. Proporciones Típicas de los componentes óxidos del cemento portland.

Óxido Componente	Porcentaje Típico	Abreviatura
CaO	61% - 67%	C
SiO ₂	20% - 27%	S
Al ₂ O ₃	4% - 7%	A
Fe ₂ O ₃	2% - 4%	F
SO ₃	1% - 3%	---
MgO	1% - 5%	---
K ₂ O y Na ₂ O	0.25% - 1.5%	---

Fuente: (Pasquel, 1998) "Tópicos de tecnología del concreto en el Perú"

Una vez terminado el proceso de formación del Clinker y su pulverización final, se logra formar diferentes compuestos, los cuales definen el comportamiento del cemento.

Tabla N° II.3. Compuestos químicos del Clinker.

N°	Nombre	Fórmula Química	Abreviatura	Descripción
1	Silicato Tricálcico (Alita)	3CaO.SiO ₂	C ₃ S	Resistencia inicial durante la primera semana, tiene gran importancia en el calor de hidratación.
2	Silicato Dicálcico (Belita)	2CaO.SiO ₂	C ₂ S	Resistencia a largo plazo, tiene incidencia menor en el calor de hidratación y se hidrata y endurece con lentitud.
3	Aluminato Tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A	Hidratación violenta, baja resistencia al intemperismo y poca resistencia a la acción de sulfatos y ataques químicos.
4	Alumino-Ferrito Tetracálcico (Celita)	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	Aminorar la temperatura de formación del clinker. Hidratación rápida. Interviene en el color final del cemento.
5	Óxido de Magnesio	MgO	---	Pese a ser un componente menor, tiene importancia pues para contenidos mayores del 5% trae problemas de expansión en la pasta hidratada y endurecida
6	Óxidos de Potasio y Sodio (Alcalis)	K ₂ O,Na ₂ O	---	Importancia para casos especiales de reacciones químicas con ciertos agregados.
7	Óxidos de Manganeso y Titanio	Mn ₂ O ₃ ,TiO ₂	---	El Mn ₂ O ₃ no tiene trascendencia especial en las propiedades del cemento salvo en su coloración, que tiende a ser marrón. El TiO ₂ influye en la resistencia, reduciéndola para contenidos superiores a 5%. Para contenidos menores, no tiene mayor trascendencia.

Elaboración a partir de Pasquel (1998) "Tópicos de tecnología del concreto en el Perú"

2.1.4 Proceso de fabricación del cemento portland

Para obtener el cemento portland se pueden emplear diferentes tipos de procesos en su fabricación, por lo general, el que más utilizan las fabricas productoras de cemento vista desde punto económico y energético, es el proceso de vía seca.

El proceso de vía seca se inicia con la extracción de materias primas, para luego clasificarlas y triturarlas. Los materiales son introducidos en forma seca y son molidos obteniendo así una mezcla conocida como crudo o harina. La mezcla es colocada en un horno rotatorio a altas temperaturas produciendo, con los gases en contacto, reacciones químicas para luego formarse el Clinker.

Posteriormente el Clinker es enfriado y molido junto con otros componentes (yeso y adiciones) formando así los diferentes tipos de cemento portland.

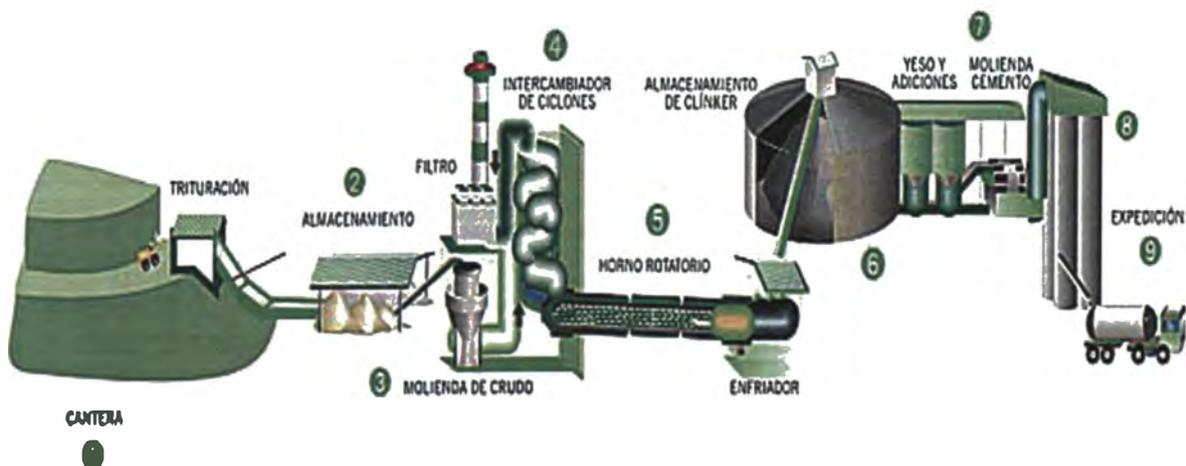


Figura N° II.1. Esquema del proceso de fabricación del cemento.

Fuente: (FLACEMA) "Proceso de Fabricación del cemento".

2.1.5 Tipos de cemento portland

De acuerdo a la NTP 334.009 (2016): "Esta Norma Técnica Peruana establece los requisitos que deben cumplir los seis tipos de cemento Pórtland que se indican a continuación"

- Tipo I: Para uso general que no requiera propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.
- Tipo II: Para uso general, específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos.

- Tipo II (MH): Para uso general, 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.
- Tipo IV: Para usar cuando se desea bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Para usar cuando se desea resistencia a los sulfatos.

Así mismo, existe una gran variedad de normas técnicas relacionadas al cemento que permiten desarrollar adecuadamente diversos ensayos. A continuación, en la Tabla N° II.4 se mencionan algunas normas técnicas relacionadas al cemento:

Tabla N° II.4. Normas Técnicas Peruanas del cemento

N°	Código	Título	Publicado
1	NTP 334.001:2011 (revisada el 2016)	CEMENTOS. Definiciones y nomenclatura. 3ª Edición	02/08/2016
2	NTP 334.002:2018	CEMENTOS. Determinación de la finura del cemento Pórtland expresada por la superficie específica usando el aparato de permeabilidad al aire. 5a Edición	17/01/2019
3	NTP 334.003:2017	CEMENTOS. Procedimiento para la obtención de pastas y morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica. 4a Edición	03/01/2018
4	NTP 334.004:2018	CEMENTOS. Ensayo en autoclave para determinar la estabilidad de volumen. 4ª Edición	14/11/2018
5	NTP 334.006:2013 (revisada el 2018)	CEMENTOS. Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico utilizando la aguja de Vicat	14/12/2018
6	NTP 334.007:2011 (revisada el 2016)	CEMENTOS. Muestreo e inspección. 3ª Edición	04/08/2016
7	NTP 334.009:2016	CEMENTOS. Cemento Pórtland. Requisitos	31/12/2016
8	NTP 334.045:2018	CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la finura del cemento Pórtland por el tamiz de 45 µm (No. 325)	28/12/2018
9	NTP 334.048:2014	CEMENTOS. Determinación del contenido de aire en morteros de cemento hidráulico	14/01/2015
10	NTP 334.051:2013 (revisada el 2018)	CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Pórtland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado	14/12/2018
11	NTP 334.052:2018	CEMENTOS. Método de ensayo para determinar el falso fraguado del cemento Pórtland. Método de la pasta	28/12/2018
12	NTP 334.053:2017	CEMENTOS. Método de ensayo para determinar el falso fraguado del cemento Pórtland. Método del mortero. 4a Edición	03/01/2018
13	NTP 334.055:2009	CEMENTOS. Método de ensayo para determinar el índice de actividad puzolánica por el método de la cal. 3a Edición.	20/02/2010
14	NTP 334.050:2015	CEMENTOS. Cementos Portland Blanco. Requisitos 4ª Edición	09/12/2015
15	NTP 334.064:2017	CEMENTOS. Método de ensayo para determinar el calor de hidratación del cemento Pórtland. Método por disolución. 4a Edición	03/01/2018

16	NTP 334.066:2018	CEMENTOS. Método de ensayo para determinar el índice de actividad a la resistencia en concreto de cemento Pórtland. 5a Edición	17/01/2019
17	NTP 334.069:2017	CEMENTOS. Cemento de albañilería. Requisitos	23/08/2017
18	NTP 334.074:2013 (revisada el 2018)	CEMENTOS. Método de ensayo para la cantidad de agua requerida para la determinación de la consistencia normal en pastas de cemento hidráulico	14/12/2018
19	NTP 334.075:2013 (revisada el 2018)	CEMENTOS. Cemento Pórtland. Método de ensayo normalizado para optimizar el SO3 usando resistencia a compresión a las 24 horas. 3a Edición	18/07/2018
20	NTP 334.076:2017	CEMENTOS. Aparato para la determinación de los cambios de longitud de pastas de cementos y morteros fraguados. Requisitos. 3a Edición	03/01/2018
21	NTP 334.077:2007 (revisada el 2017)	CEMENTOS. Ambientes, gabinetes y tanques de almacenamiento utilizados en los ensayos de cemento y concreto. Requisitos. 2ª Edición	18/12/2017
22	NTP 334.078:2014	CEMENTOS. Cemento Portland hidratado. Método de ensayo normalizado para el sulfato extraíble en el agua en el mortero endurecido de cemento Portland hidratado	28/12/2014
23	NTP 334.079:2016	CEMENTOS. Masas de referencia y dispositivos de determinación de masa y volumen para uso en los ensayos físicos de cemento hidráulico. Requisitos (Basada: ASTM C1005-10)	31/12/2016
24	NTP 334.082:2016	CEMENTOS. Cemento Pórtland. Requisitos de desempeño	31/12/2016
25	NTP 334.084:2009	CEMENTOS. Especificación normalizada para aditivos funcionales a usarse en la producción de cementos Portland	13/09/2009
26	NTP 334.085:2015	CEMENTOS. Aditivos de proceso a usarse en la producción de Cementos Portland	31/12/2015
27	NTP 334.087:2018	CEMENTOS. Microsilíce utilizado en mezclas cementosas. Requisitos	28/12/2018
28	NTP 334.088:2015	CEMENTOS. Aditivos químicos en pastas, morteros y concreto. Especificaciones. 3ª Edición	09/12/2015
29	NTP 334.089:2010 (revisada el 2015)	CEMENTOS. Aditivos incorporadores de aire en pastas, morteros y hormigón (concreto). Especificaciones	19/12/2015
30	NTP 334.090:2016	CEMENTOS. Cemento Pórtland adicionados. Requisitos	31/12/2016

Elaboración a partir de INACAL (2019) "Normas Técnicas Peruanas"

En el ámbito laboral de la construcción existen variedades de marcas de cemento, así como, de características especiales destinadas a satisfacer condiciones específicas (calor de hidratación, resistencia a los sulfatos, entre otros). Comúnmente en el mercado peruano se suele utilizar el cemento tipo I por su uso en general. Así mismo, en la presente tesis se realizaron los ensayos empleando el cemento portland tipo I, en la Tabla N° II.5 se indican las características de este cemento.

Tabla N° II.5. Propiedades físicas y químicas del Cemento Sol Tipo I.

Parámetro	Unidad	Cemento Sol	Requisitos NTP-334.009 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	6.62	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	336	Mínimo 260
Densidad	g/ml	3.12	No específica
Resistencia a la Compresión			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	310	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ²	377	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ²	438	Mínimo 285*
Tiempo de Fraguado			
Fraguado Vicat inicial	min	127	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	305	Máximo 375
Composición Química			
MgO	%	2.93	Máximo 6.0
SO ₃	%	3.00	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	1.92	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.7	Máximo 1.5
Fases Mineralógicas			
C ₂ S	%	11.9	No específica
C ₃ S	%	54.2	No específica
C ₃ A	%	10.1	No específica
C ₄ AF	%	9.7	No específica

*Requisito opcional

Fuente: (UNACEM) "Ficha Técnica Cemento Sol Tipo I".

2.2 AGREGADOS

El agregado fino, de acuerdo a la NTP 400.037 (2018) "Es el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 74 µm (N° 200)".

El agregado grueso, de acuerdo a la NTP 400.037 (2018) "Es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca".

Los agregados (arena y piedra) son materiales granulares que resultan de la desintegración natural (procesos geológicos) y/o artificial (transformación de materiales). Participan en gran medida en el diseño de mezcla, por lo que sus propiedades contribuyen a las características del concreto. De acuerdo a Pasquel (1998) "Se definen los agregados como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente".

Si bien los agregados no reaccionan químicamente con el cemento (por eso el llamarlos elementos inertes), estos intervienen notablemente en el resultado final del concreto, tomando importancia las propiedades y las proporciones de los agregados. Es aquí donde se busca una adecuada relación entre la arena y la piedra, el cual, en la presente tesis se ha obtenido mediante la combinación de agregados con el mayor Peso Unitario Compactado (Método de Máxima Compacidad).

“La distribución volumétrica de las partículas tiene gran transcendencia en el concreto para obtener una estructura densa y eficiente, así como una trabajabilidad adecuada. Está científicamente demostrado que debe haber un ensamble casi total entre las partículas, de manera que la más pequeñas ocupen los espacios entre las mayores y el conjunto esté unido por la pasta de cemento” (Pasquel, 1998).

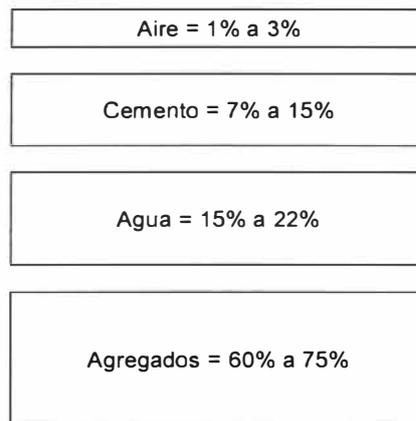


Figura N° II.2. Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto.

Fuente: (Pasquel, 1998) “Tópicos de tecnología del concreto en el Perú”

Para la obtención de las propiedades físicas del agregado fino y grueso, se realizaron muestreos y ensayos de acuerdo a las siguientes Normas Técnicas Peruanas:

Tabla N° II.6. Ensayos a realizar para las propiedades físicas del agregado fino.

N°	CÓDIGO	TÍTULO	PUBLICADO	ENSAYO	ASTM
1	NTP 400.037:2018	AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos. 4ª Edición	08/02/2018	Análisis Granulométrico	ASTM C 33/C33M:2013
2	NTP 400.012:2013 (revisada el 2018)	AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3ª Edición	18/07/2018	Análisis Granulométrico/Modulo de Finura	ASTM C136:2006

3	NTP 400.011:2008 (revisada el 2018)	AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). 2ª Edición	18/07/2018	Módulo de Finura	ASTM C637-98(2003); ASTM C332-99; ASTM C330-05; ASTM C331-05
4	NTP 400.017:2011 (revisada el 2016)	AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. 3a. Edición (Basada ASTM C 29/C29M-2009)	02/08/2016	Peso Unitario Suelto	ASTM C 29/C29M-2009
5	NTP 400.017:2011 (revisada el 2016)	AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. 3a. Edición (Basada ASTM C 29/C29M-2009)	03/08/2016	Peso Unitario Compactado	ASTM C 29/C29M-2009
6	NTP 400.022:2013 (revisada el 2018)	AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. 3a Edición	18/07/2018	Peso Específico.	ASTM C 128-2012
7	NTP 400.022:2013 (revisada el 2018)	AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. 3a Edición	18/07/2018	Absorción.	ASTM C 128-2012
8	NTP 339.185:2013 (revisada el 2018)	AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. 2ª Edición	18/07/2018	Contenido de Humedad.	ASTM C566-2013

Elaboración a partir de INACAL (2019) "Normas Técnicas Peruanas"

Tabla N° II.7. Ensayos a realizar para las propiedades físicas del agregado grueso.

N°	CÓDIGO	TÍTULO	PUBLICADO	ENSAYO	ASTM
1	NTP 400.037:2018	AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos. 4ª Edición	08/02/2018	Análisis Granulométrico	ASTM C 33/C33M:2013
2	NTP 400.012:2013 (revisada el 2018)	AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3ª Edición	18/07/2018	Análisis Granulométrico/ Modulo de Finura	ASTM C136:2006
3	NTP 400.011:2008 (revisada el 2018)	AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). 2ª Edición	18/07/2018	Módulo de Finura.	ASTM C637-98(2003); ASTM C332-99; ASTM C330-05; ASTM C331-05
4	NTP 400.017:2011 (revisada el 2016)	AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. 3a. Edición (Basada ASTM C 29/C29M-2009)	02/08/2016	Peso Unitario Suelto	ASTM C 29/C29M-2009
5	NTP 400.017:2011 (revisada el 2016)	AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. 3a. Edición (Basada ASTM C 29/C29M-2009)	03/08/2016	Peso Unitario Compactado	ASTM C 29/C29M-2009

6	NTP 400.021:2013 (revisada el 2018)	AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. 3a Edición	18/07/2018	Peso Específico.	ASTM C127-1988
7	NTP 400.021:2013 (revisada el 2018)	AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. 3a Edición	19/07/2018	Absorción.	ASTM C127-1988
8	NTP 339.185:2013 (revisada el 2018)	AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. 2ª Edición	18/07/2018	Contenido de Humedad.	ASTM C566-2013

Elaboración a partir de INACAL (2019) "Normas Técnicas Peruanas"

Los agregados se obtuvieron en sacos, provenientes de las canteras trapiche (agregado fino) y UNICON (agregado grueso), cumpliendo ambas con la NTP 400.037 (2018).

2.2.1 Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico consiste en determinar la distribución de las partículas de una muestra por medio de una serie de tamices normalizados.

Tener gravas gruesas en un diseño de mezcla podría originar un concreto poco trabajable, así mismo, tener arenas muy finas provocaría que se use una mayor cantidad de cemento, lo cual incrementaría el costo del diseño final. En general, una gradación continua de los agregados o que no contengan una ausencia o gran exceso de tamaño, producirían resultados más satisfactorios en el concreto.

De este ensayo se obtienen dos parámetros, el **Tamaño máximo** el cual de acuerdo a la NTP 400.037 (2018) "Es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso" y el **Tamaño Máximo Nominal** el cual de acuerdo a la NTP 400.037 (2018) "Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido entre 5 % y 10 %".

Para efectuar este ensayo, tanto en el agregado fino como en el agregado grueso, se tomaron en cuenta las especificaciones indicadas en las siguientes normas:

- NTP 400.012 (2013): AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

- NTP 400.037 (2018): AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos. Aquí es donde se establecen los límites granulométricos.

Tabla N° II.8. Límites granulométricos del agregado fino.

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	5 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10
75 µm (No. 200)	0 a 3,0 ^{A,B}

^A Para concreto no sujeto a la abrasión, el límite para el material más fino que el tamiz 75 µm (No. 200) debe ser máximo 5%.

^B Para agregado fino artificial u otros reciclados, si el material más fino que el tamiz 75 µm (No. 200) consiste en polvo de trituración, esencialmente libre de arcilla o esquistos, este límite debe ser 5% para concreto sujeto a abrasión y máximo 7% para concreto no sujeto a abrasión

Fuente: (INACAL) "AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto".

NTP 400.037.

Tabla N° II.9. Límites granulométricos del agregado grueso.

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 ½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 ½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37,5 mm (1 ½ pulg)	25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (¾ pulg)	12,5 mm (½ pulg)	9,5 mm (¾ pulg)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	90 mm a 37,5mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
2	63 mm a 37,5 mm (2 ½ pulg a 1 ½ pulg)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
3	50 mm a 25,0 mm (2 pulg a 1 pulg)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
357	50 mm a 4,75 mm (2 pulg a No. 4)	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	...
4	37,5 mm a 19,0 mm (1 ½ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...	...
467	37,5 mm a 4,75 mm (1 ½ pulg a No. 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	...
5	25,0 mm a 12,5mm (1 pulg a ½ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	...
56	25,0 mm a 9,5 mm (1 pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	...
57	25,0 mm a 4,75mm (1 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	...
6	19,0 mm a 9,5 mm (¾ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...	...
67	19,0 mm a 4 mm (¾ pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...
7	12,5 mm a 4,75 mm (½ pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	...
8	9,5 mm a 2,36 mm (¾ pulg a No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	...
89	12,5 mm a 9,5 mm (½ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4,75 mm a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: (INACAL) "AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto". NTP 400.037.

2.2.2 Módulo de Finura

La NTP 400.011 (2008) define al módulo de finura como: "Factor que se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividido por 100".

Es un índice adimensional que indica que tan grueso o fino es un agregado y ayuda determinar la gradación de los mismos. Por lo general, el módulo de finura del agregado fino varía entre 2.50 a 3.10 y del agregado grueso depende del tamaño máximo, aunque su valor por lo general varía alrededor de 7.00.

De acuerdo a la NTP 400.012 (2013): "Cuando se requiera, calcular el módulo de fineza, sumando el porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (porcentaje acumulado retenido) y dividir la suma entre 100: 150 μm (N° 100); 300 μm (N° 50); 600 μm (N° 30); 1,18 mm (N° 16); 2,36 mm (N° 8); 4,75 mm (N° 4); 9,5 mm (3/8 de pulgada); 19,0 mm (3/4 de pulgada); 37,5 mm (1 1/2 pulgada) y mayores; incrementando en la relación 2 a 1".

$$M. F. = \frac{\sum \% \text{Retenido acumulado (1 1/2" + 3/4" + 3/8" + N°4 + N°8 + N°16 + N°30 + N°50 + N°100)}}{100}$$

En síntesis, la NTP 400.011 (2008) define el concepto de Modulo de Finura y la NTP 400.012 (2013) indica cómo se debe calcularla, tanto para el agregado fino como el agregado grueso.

2.2.3 Peso Unitario

La NTP 400.017 (2011) define el Peso Unitario como: "Peso (Masa) por unidad de volumen (Este término es obsoleto, es preferible usar el término densidad de masa)". El peso unitario se define como el resultado de la división entre el peso de una muestra de agregado por su volumen, incluyendo los vacíos. Es una constante que depende del material y por lo general es expresada en kg/m^3 . Dependiendo del acomodo del material, se tiene dos valores para el peso unitario: Peso Unitario Suelto y Peso Unitario Compactado.

- Peso Unitario Suelo (P.U.S.):

Es el peso que se determina cuando el agregado es colocado suavemente en un recipiente hasta llenarlo completamente al borde para luego enrasarlo. Su valor puede variar dependiendo del contenido de humedad y de su granulometría, y se calcula de la siguiente manera:

$$P.U.S. = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

- **Peso Unitario Compactado (P.U.C.):**

El Peso Unitario Compactado es cuando el agregado ha sido colocado en un recipiente y compactado en capas (03), esto incrementa el acomodo de las partículas del material reduciendo la cantidad de vacíos, es decir, aumenta la masa que puede ser colocado dentro del recipiente.

$$P.U.C. = \frac{\text{Peso del material compactado}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

Para realizar los ensayos de peso unitario suelto y compactado, se tomaron en cuenta la siguiente norma:

- NTP 400.017 (2011): AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados.

2.2.4 Peso Específico

De acuerdo a la NTP 400.021 (2013) el peso específico o densidad “Es la masa por unidad de volumen de un material, expresado como kilogramos por metro cúbico”.

El peso específico es utilizado como un indicador de la calidad del agregado en la preparación del concreto. Así mismo, de este ensayo se pueden obtener los siguientes valores:

- ✓ Peso Específico de masa (PEM)
- ✓ Peso Específico Aparente (PEA)
- ✓ Peso Específico de masa saturado superficialmente seco (PESSS).

Tanto la NTP 400.021 (2013) como la NTP 400.022 (2013) indican que El Peso Específico en masa o densidad en masa "Es la masa de las partículas de agregado secado al horno por unidad de volumen de partículas de agregado, incluyendo el volumen de poros permeables e impermeables dentro de las partículas, pero sin incluir los espacios vacíos entre las partículas". De todos los pesos especificados que se pueden calcular, el PEM tiene importancia en la dosificación del concreto, ya que, permite convertir pesos a volúmenes o viceversa.

Los ensayos se realizaron de acuerdo a la NTP 400.022 (2013) para el agregado fino y la NTP 400.021 (2013) para el agregado grueso.

2.2.5 Absorción

De acuerdo a la NTP 400.021 (2013) y la NTP 400.022 (2013) se define a la absorción como: "Es el aumento de la masa del agregado debido al agua que penetra en los poros de las partículas, durante un período de tiempo prescrito, pero sin incluir el agua que se adhiere a la superficie exterior de las partículas, expresado como porcentaje de la masa seca".

El porcentaje de absorción matemáticamente es la división de la cantidad de agua absorbida y el peso seco de la muestra, se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{P_{sss} - P_{seca}}{P_{seca}} * 100$$

Dónde:

P_{seca} = Peso de la muestra seca al aire (agregado fino o grueso).

P_{sss} = Peso de la muestra saturada superficialmente seca al aire (agregado fino o grueso).

Esta propiedad es importante, ya que, si la absorción es mayor que el contenido de humedad, entonces se tendría que agregar más agua al diseño, lo que variaría la cantidad de agua final, por consiguiente, la relación agua/cemento.

La absorción en ocasiones se emplea como un valor que se especifica para aprobar o rechazar el agregado para ciertas condiciones (heladas).

Normas a tener cuenta:

- Porcentaje de absorción para el agregado fino: NTP 400.022 (2013).
- Porcentaje de absorción para el agregado grueso: NTP 400.021 (2013).

2.2.6 Contenido de Humedad

El contenido de humedad es la cantidad de agua que se encuentra en una muestra de agregado en estado natural. Tal como el porcentaje de absorción, el contenido de humedad puede variar la relación agua/cemento.

De acuerdo a la NTP 339.185 (2013), la muestra debe calentarse a una temperatura de 110 C° en un horno durante 24 horas, y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Contenido de Humedad (\%)} = \frac{P_{\text{natural}} - P_{\text{seco al horno}}}{P_{\text{seco al horno}}} * 100$$

Dónde:

N_{natural} = Peso en estado natural (agregado fino o grueso).

$P_{\text{seco al horno}}$ = Peso de la muestra seco al horno (agregado fino o grueso).

2.2.7 Máxima Compacidad de los agregados

El ensayo de máxima compacidad, combinación de agregados o agregado global, se realiza combinando diferentes proporciones de agregado fino y grueso para luego vaciarlo en un recipiente y compactarlo mediante una varilla metálica en 3 capas.

Este ensayo permite determinar cuál es la mejor relación entre la arena y piedra al ser compactadas, es decir, la relación que tendría un mejor desempeño en el diseño de mezcla y el cual favorecía en el resultado de las propiedades del concreto endurecido. Se calcula mediante un gráfico de Peso Unitario Compactado de la combinación de agregados vs % Agregado Grueso. Para una mejor apreciación, se presenta la tabla del porcentaje de arena y piedra y del peso unitario compactado del agregado global, así como, el grafico que se obtiene de esta tabla, todo con los datos obtenidos en el laboratorio.

Tabla N° II.10. Peso Unitario Compactado de la combinación de agregados, datos obtenidos en laboratorio.

% Piedra	40.00	46.00	50.00	54.00	60.00
% Arena	60.00	54.00	50.00	46.00	40.00
P.U.C. (kgm³)	2027.66	2031.91	2051.06	2029.72	2011.70

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El volumen del recipiente metálico utilizado en el laboratorio fue de 1/3 pie³.

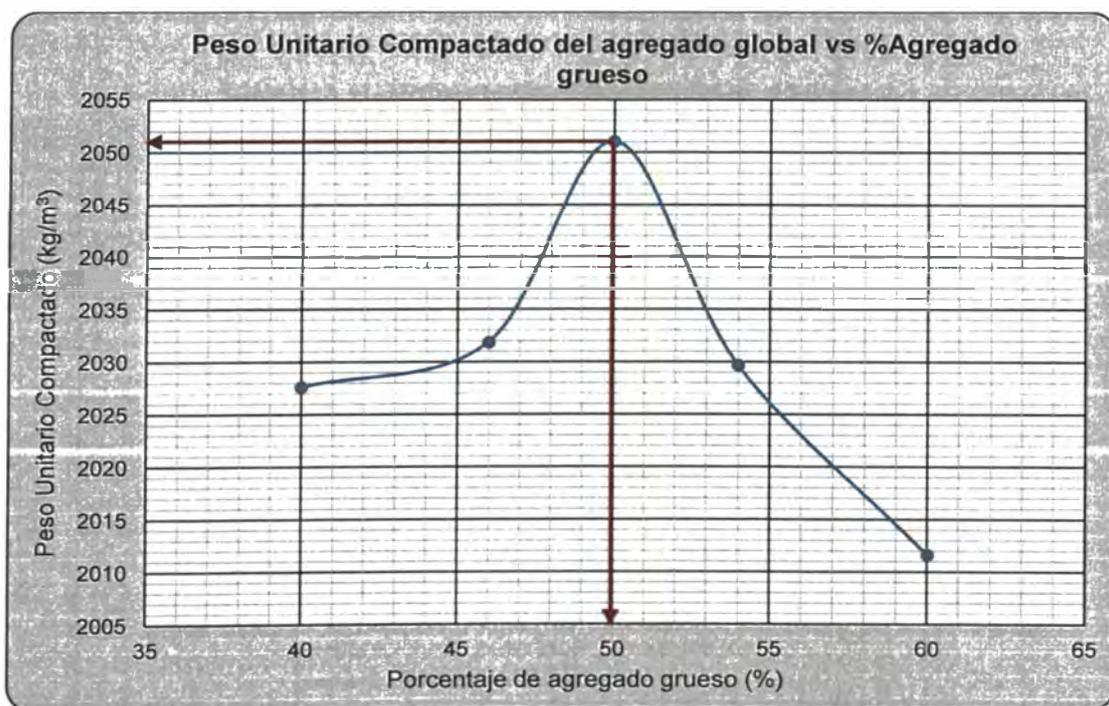


Figura N° II.3. Ensayo Máxima Compacidad, datos obtenidos en laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

2.3 AGUA PARA EL CONCRETO

Para la producción del concreto, es esencial predisponer de una buena calidad de agua, ya que esta afecta a la resistencia del concreto. Su uso interviene en dos etapas, (1) en el diseño de mezcla y (2) en el curado del concreto.

2.3.1 Agua en el diseño de mezcla

El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales: (I) Reaccionar con el cemento para hidratarlo, (II) Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto y (III) Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse. (Pasquel Carbajal, 1998)

El agua a utilizar en la preparación de concreto debe ser potable, ya que esta cumple con lo establecido en la norma. En zonas alejadas donde no se tiene acceso se puede recurrir a otro tipo de fuente, por ejemplo, agua de río. Para utilizarla, ésta debe de estar libre de impurezas (no contener sales en exceso y sustancias que puedan perjudicar el concreto) por lo que se deben realizar determinados ensayos que puedan acreditar su calidad. Los límites permisibles para el uso del agua de mezcla están establecidos en la norma NTP 339.088 (2014).

Tabla N° II.11. Normas técnicas relacionadas al uso del agua.

N°	CÓDIGO	TÍTULO	PUBLICADO	ASTM
1	NTP 339.070:2017	CONCRETO. Toma de muestras de aguas usadas para la preparación y curado de morteros y concretos de cemento Portland y aguas agresivas. 3ª Edición.	20/10/2017	UNE 83951-2008
2	NTP 339.071:2009	CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar el residuo sólido y el contenido de materia orgánica (sólidos volátiles) de las aguas usadas para elaborar morteros y concretos de cemento Portland	20/02/2010	---
3	NTP 339.076:2017	CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar el contenido del ion cloruro en las aguas usadas en la elaboración de concretos y morteros de cemento Portland. 3ª Edición	20/10/2017	ASTM D512-2004
4	NTP 339.088:2014	CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos	14/01/2015	ASTM C 1602/C 1602M-2004

Elaboración a partir de INACAL (2019) "Normas Técnicas Peruanas"

2.3.2 Agua en el curado del concreto

"Se concluye que la mejor manera de asegurar que se logra desarrollar toda la potencialidad del concreto y, además, disminuir la dispersión de los resultados, es mediante el curado por inmersión en agua saturada de cal, tanto en obra con las probetas recién moldeadas, como en laboratorio hasta la edad de ensayo" (Holmgren G., Cavieres C., & Cepeda C., 2005)

El curado del concreto consiste en mantenerlo húmedo hasta que alcance su resistencia máxima. Para muestras de concreto (probetas) es recomendable mantenerlas sumergidas en agua saturada con cal (hidróxido de calcio)

alrededor de dos gramos por litro de agua o de acuerdo a como lo considere el especialista.

Para realizar el curado de las probetas de concreto, se tomaron en cuenta las recomendaciones dadas en las siguientes normas:

Tabla N° II.12. Normas técnicas curado de concreto.

N°	CÓDIGO	TÍTULO	PUBLICADO	ASTM
1	NTP 339.183:2013 (revisada el 2018)	CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. 2ª Edición	18/07/2018	ASTM C192M/C192M: 2007
2	NTP 339.033:2015	CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo. 4ª Edición	14/01/2016	ASTM C 31/C31M: 2012

Elaboración a partir de INACAL (2019) "Normas Técnicas Peruanas"

2.4 ADITIVO

Son materiales orgánicos o inorgánicos que se añaden a la mezcla durante o luego de formada la pasta de cemento y que modifican en forma dirigida algunas características del proceso de hidratación, el endurecimiento e incluso la estructura interna del concreto. (Pasquel, 1998).

La norma NTP 339.047 (2014) define al aditivo como: "Es el producto químico que añadido en pequeña cantidad al concreto, permite mejorar ciertas propiedades, cualidades deseadas, tanto para el hormigón (concreto), en su estado fresco como endurecido". Así mismo, la norma NTP 334.088 (2015) menciona los siguientes tipos de aditivos:

- Tipo A: Aditivos reductores de agua.
- Tipo B: Aditivos retardadores.
- Tipo C: Aditivos aceleradores.
- Tipo D: Aditivos reductores de agua y retardadores.
- Tipo E: Aditivos reductores de agua y aceleradores.
- Tipo F: Aditivos reductores de agua de alto rango y
- Tipo G: Aditivos reductores de agua de alto rango y retardadores.

El aditivo empleado en la presente tesis es el **aditivo acelerante de fragua y resistencia sin cloruro (ACCELGUARD 100)**, el cual se puede clasificar dentro del Tipo C (ASTM C-494)

Los aditivos acelerantes ayudan al concreto acortar el tiempo de fraguado y a alcanzar resistencias a edades tempranas, trayendo consigo muchos beneficios en los procesos constructivos.

2.4.1 Aditivos aceleradores o acelerantes

“La velocidad de reacción entre las partículas de cemento y el agua es conocida como la tasa de hidratación de un cemento. Este fenómeno puede modificarse añadiendo unas pequeñas cantidades de químicos a la mezcla para que se incrementen los hidratos que nacen para una edad determinada, teniendo como resultado un aceleramiento del proceso. A estos componentes químicos se les denomina acelerantes y tienen dos propósitos fundamentales en el concreto, disminuir los tiempos de fraguado e incrementar las resistencias tempranas cuando el concreto se encuentre ya endurecido. Se pueden encontrar acelerantes que tengan solo uno de los efectos, o ambos a la vez” (Perú Construye, 2018).

“El cemento portland está compuesto por Clinker y Yeso. El Clinker es el mineral artificial compuesto en su gran mayoría por cristales de Calcio, Sílice y Aluminio (con otras “impurezas” como Fe, Na, K, Mg, entre otros.), agregamos el yeso a este conjunto de cristales para retardar el fraguado y tener el tiempo suficiente para moldear la pasta de cemento. Inicialmente los aditivos acelerantes se concentraron en anular el efecto del yeso, combinándose químicamente con él. Con el tiempo se ensayaron nuevos compuestos que actuaran tanto sobre la hidratación del Aluminato tricálcico (C3A) como sobre los Silicatos (C3S, C2S), principales componentes del Clinker” (Hermida, 2014).

De acuerdo a Rivva Lopez (2000) “Se define como aditivos aceleradores a aquellos productos químicos que incorporados a la mezcla permiten:”

- a) “Reducir el tiempo de fraguado”
- b) “Lograr incrementos significativos en la resistencia inicial del concreto”

- c) “Reducir los periodos de curado y protección necesarios para alcanzar una resistencia determinada en el concreto, y”
- d) “Trabajar el concreto en mejores condiciones durante los periodos de baja temperatura ambiente”

“Como el término lo indica, un acelerante deberá incrementar la velocidad de desarrollo de ciertas propiedades características del cemento y/o el concreto, sin que ello signifique que deberá necesariamente afectar a cada una de las diversas propiedades de la misma forma simultáneamente” (Rivva, 2000).

Rivva Lopez (2000) menciona las siguientes ventajas del aditivo acelerador:

En el desarrollo inicial de la resistencia:

- Un desencofrado más rápido.
- Acortamiento en el periodo de protección del concreto.
- Rápido acabado o reparación de la estructura.
- Compensación de los efectos de las bajas temperaturas sobre el desarrollo de resistencia.

En la reducción en el tiempo de fraguado:

- Operaciones de acabado superficial más rápida.
- Reducción temprana en la presión sobre los encofrados.
- Rápido taponeo de fallas debidas a presión hidráulica.

El mecanismo de trabajo de los aditivos acelerantes no está muy bien definida, además, su acción depende del tipo y marca del aditivo, y de que componente en específico es el que provoca la aceleración en el fraguado, así como en las resistencias iniciales del concreto. En general, estos aceleradores parecen ser que provocan una cristalización rápida de silicatos (C_3S , C_2S) y aluminatos cálcicos (C_3A) en la pasta del cemento hidratada.

“La gran mayoría de aditivos inicialmente contaban en sus componentes con el cloruro de calcio ($CaCl_2$), que es un gran acelerante pero su uso no controlado produce (a largo plazo) corrosión en el acero, al igual que cualquier otro producto en cuya composición intervenga cloruros, sulfuros, sulfitos u otros componentes

químicos que ocasionen o favorezcan la corrosión de armaduras” (Fernández, 2007).

“En una gran parte de los aditivos acelerantes se encuentra el cloruro de calcio (CaCl_2) que es el acelerante por excelencia, sin embargo, también actúan como aceleradores o acelerantes el cloruro de sodio, aluminatos, silicatos, fluosilicatos, amónico, carbonatos, boratos hidróxidos de sodio y potasio, la alunita, la dietanolamina, entre otros” (Fernández, 2007).

“El cloruro de calcio aumenta la velocidad de hidratación provocando resistencias iniciales altas y liberando gran cantidad de calor en sus primeras horas. Actúa como catalizador en las reacciones de hidratación del aluminato del cemento y acelera la reacción entre el yeso y el Aluminato tricálcico (C_3A) y el Ferrito aluminato tetracálcico (C_4AF)” (Fernández, 2007).

“Otro acelerante usado actualmente en la hidratación del cemento es el aluminato de sodio NaAlO_2 (compuesto inorgánico) el cual tiene carencia de efectos secundarios a excepción de su uso en terrenos con abundantes sulfatos” (Fernández, 2007)

“Aditivos acelerantes no corrosivos y sin cloruros, determinados nitratos, formiatos, y nitritos ofrecen alternativas al usuario, aunque pueden ser menos efectivos y son más caros que el cloruro de calcio” (Rivva, 2000).

“Otros productos químicos que aceleran la velocidad de endurecimiento del concreto incluyen la trietanolamida y una variedad de sales solubles tales como cloruros, bromuros, fluoruros, carbonatos, silicatos y tiocianuros” (Rivva, 2000).

“De acuerdo al Ing. Carrasco, los acelerantes reducen la trabajabilidad de la mezcla si se emplean solos, pero mejoran si se usa conjuntamente con incorporadores de aire, ya que, incrementan su acción lubricante con el contenido de aire incorporado” (Revista Costos, 2020).

“Los actuales aditivos acelerantes son libres de cloruros sin efectos perjudiciales en la durabilidad del concreto. Podemos mencionar a los acelerantes basados en

silicatos de sodio, producto químico soluble en agua que reacciona con el agua en lugar del cemento; aluminato de sodio y potasio que representan un mejor desempeño en comparación con los silicatos; y los acelerantes libre de álcalis que no representan riesgo de quemaduras a la piel y ojos del personal” (Perú Construye, 2018).

Actualmente se han desarrollado aditivos acelerantes con propiedades químicas no agresivas y que reducen el impacto ambiental, libres de álcalis, a base de sales orgánicas en los que no se dan disminuciones de resistencias a largo plazo.

2.4.2 Efectos de los aditivos acelerantes

De acuerdo a Torres Alayo (2004): “Los efectos de los acelerantes sobre algunas de las propiedades del concreto son los siguientes”:

a) Tiempo de fraguado

“Se reduce el tiempo de fraguado, tanto el inicial como el final. El grado de reducción varía según la cantidad de acelerante empleada, la temperatura del concreto y la temperatura ambiente. Las cantidades excesivas de algunos acelerantes pueden causar un fraguado muy rápido, o por el contrario, el aditivo actúa como retardante” (Torres, 2004).

b) Calor de Hidratación

“Se obtiene liberación temprana de calor, pero no se observa efecto apreciable sobre el calor total de hidratación” (Torres, 2004).

c) Exudación

La exudación del concreto fresco es un fenómeno que se produce por el ascenso del agua de amasado de una mezcla de concreto durante el tiempo que dura su fraguado.

Al utilizar aditivos acelerantes de fragua, estos provocan gran calor de hidratación, lo que genera que el agua que asciende de la masa del concreto se evapore más rápido de lo normal.

“La contracción por secado y la figuración aumentan cuando no se cura el concreto rápida y adecuadamente. Por su gran cantidad de álcalis aumentan la reactividad alcalina de algunos agregados. Los concretos con acelerantes reducen la resistencia a los sulfatos y son sensibles a los cambios volumétricos de temperatura” (Revista Costos, 2020).

Si la elevación de la temperatura no es mantenida en un mínimo, o si no se permite que el calor se disipe a una velocidad razonable, puede presentarse cangrejeras, agrietamientos, fisuras o microfisuras en el concreto.

Por lo que, es necesario realizar un adecuado curado, en el tiempo indicado para evitar estas patologías.

d) Resistencia

“La resistencia a la compresión se incrementa de manera sustancial a edades tempranas. La resistencia final puede reducirse ligeramente. Algunos aditivos acelerantes estudiados en la FIC-UNI no originan incrementos en las resistencias a la compresión a edades tempranas, en algunos casos los aditivos reducen las resistencias del concreto a edades tempranas, el concreto con aditivo dependerá de la relación a/c de la mezcla” (Torres, 2004).

e) Cambios de volumen

“Los cambios de volumen se incrementan tanto con curado húmedo como en condiciones de secado. Existe el problema del grado del efecto causado por los acelerantes en oposición a otros factores que influyen en los cambios de volumen” (Torres, 2004).

f) Resistencia a las heladas

“La resistencia a la congelación y al deshielo, así como a la escamación causada por el empleo de sales deshelantes, se incrementa a edades tempranas, pero puede decrecer a edades posteriores” (Torres, 2004).

2.4.3 Aditivo acelerante de fragua y resistencia sin cloruro “ACCELGUARD 100”

El aditivo ACCELGUARD 100 es un aditivo líquido acelerante formulado sin cloruros, que permite acelerar el tiempo de fraguado e incrementar el desarrollo de resistencias iniciales, sin decremento de las finales a temperaturas bajas. Es usado a una dosificación 0.6 – 3.0% por peso del cemento. Ver Anexo 01

2.4.4 Aplicaciones del aditivo “ACCELGUARD 100”

De acuerdo a la ficha técnica del aditivo de acelerante de fragua y resistencia sin cloruro “ACCELGUARD 100”, el campo de aplicación está dirigido a:

- Donde se requiera acelerar el tiempo de fraguado del concreto.
- Concretos especiales con altos contenidos de cemento donde se requiera un desarrollo rápido de resistencias a compresión y flexión.
- Concreto prefabricado y pretensados, donde no es posible la presencia de cloruros.
- Colocación del concreto en climas fríos.
- Concreto Armado.

Al ser la función principal del aditivo acelerar las resistencias a edades tempranas, es ampliamente usado para reducir el tiempo de procesos constructivos, como por ejemplo: acabados rápidos, agilizar el tiempo de desencofrados, construcción de placas y muros pantallas, entre otros, conservando además la calidad de la estructura.

2.4.5 Beneficios del aditivo “ACCELGUARD 100”

De acuerdo a la ficha técnica del aditivo de acelerante de fragua y resistencia sin cloruro:

- Acelera el tiempo de fraguado de 1 a 5 horas, según la temperatura de ambiente y del concreto.
- Reduce los costos de construcción; se acelera el ciclo de colocación del concreto.
- Minimiza la exudación y segregación.
- Aumenta el desarrollo de resistencias a la compresión a todas las edades.
- Es compatible con todo tipo de aditivos plastificantes y súper plastificantes.

2.5 RELACIÓN AGUA/CEMENTO (A/C)

“La relación agua/cemento requerida por una mezcla de concreto es función de la resistencia, durabilidad y requisitos de acabado del mismo” (Rivva Lopez, 1992)

La relación agua/cemento fue descubierta por Duff A. Abrams en 1918, es un parámetro que por lo general se trabaja en un rango de 0.30 a 0.70. Agregarle mayor cantidad agua (mayor relación agua/cemento) provocaría que los componentes del diseño lleguen a un punto en que ya no puedan absorber más, lo que a futuro generaría espacios vacíos debido a la evaporación del agua (menor resistencia). Así mismo, una menor cantidad de agua no permitiría que las partículas se hidraten correctamente, por lo que no se cumpliría la función de aglomerante (adhesión) y se perdería trabajabilidad. Esto conlleva a realizar estudios previos para determinar qué relación a/c se ajusta a los resultados que estamos buscando.

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E060: “Para cada relación agua-material cementante o contenido de material cementante deben confeccionarse y curarse al menos tres probetas cilíndricas para cada edad de ensayo de acuerdo con “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory” (ASTM C 192M). Las probetas deben ensayarse a los 28 días o a la edad de ensayo establecida para determinar $f'c$ ”.

Así mismo, el Comité ACI 211 elaboró una tabla que relaciona la resistencia del concreto y la relación a/c, el cual en la presente tesis se consideró como un criterio para la realización del diseño de mezcla:

Tabla N° II.13. Resistencia del concreto y relación a/c.

TABLE A1.5.3.4(a) — RELATIONSHIPS BETWEEN WATER-CEMENT RATIO AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE (SI)		
Compressive strength at 28 days, MPa*	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	—
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Fuente: (ACI) "211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete"

2.6 ENSAYOS EN EL CONCRETO

Como parte de la investigación, se establecieron los ensayos que se realizarán tanto en el estado fresco como en el estado endurecido, esto conllevó a que se calcularan las siguientes propiedades:

Tabla N° II.14. Normas técnicas de los ensayos del concreto en estado fresco.

N°	CÓDIGO	TÍTULO	PUBLICADO	ENSAYO	ASTM
1	NTP 339.035:2015	CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland. 4a. Edición	31/12/2015	Asentamiento (slump)	ASTM C 143/C143-2008
2	NTP 339.046:2008 (revisada el 2018)	CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. 2ª Edición	26/12/2018	Peso Unitario	ASTM C138 / C138M - 2008
3	NTP 339.080:2017	CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión. 3ª Edición	03/01/2018	Contenido de aire	ASTM C231/C231M-2010
4	NTP 339.077:2013 (revisada el 2018)	CONCRETO. Métodos de ensayo normalizados para exudación del concreto. 3ª Edición	18/07/2018	Exudación	ASTM C232/C232M-2009
5	NTP 339.082:2017	CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración. 4ª Edición	03/01/2018	Tiempo de fragua	ASTM C403/C403M-2016

Elaboración a partir de INACAL (2019) "Normas Técnicas Peruanas"

Tabla N° II.15. Normas técnicas de los ensayos del concreto en estado endurecido.

N°	CÓDIGO	TÍTULO	PUBLICADO	ENSAYO	ASTM
1	NTP 339.034: 2015	CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. 4ª Edición	31/12/2015	Resistencia a la compresión	ASTM C39/C39M-2015

2	NTP 339.084:2012 (revisada el 2017)	CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica	18/12/2017	Tracción por compresión Diametral	ASTM C496/C496M -2011
---	--	---	------------	-----------------------------------	-----------------------

Elaboración a partir de INACAL (2019) "Normas Técnicas Peruanas"

2.6.1 Ensayos en estado fresco

A continuación, se mencionan los ensayos que se realizarán en estado fresco:

2.6.1.1 Asentamiento (Slump)

El asentamiento permite determinar numéricamente la consistencia promedio de una mezcla de concreto. La NTP 339.035 (2015) resume este ensayo de la siguiente manera: "Una muestra de concreto fresco mezclado, se coloca en un molde con forma de cono trunco, y se compacta por varillado. El molde se retira hacia arriba permitiendo que el concreto se asiente. La distancia vertical entre la posición inicial y la desplazada, medida en el centro de la superficie superior del concreto, se informa como el asentamiento del concreto".

El asentamiento de la mezcla está ligado a la consistencia del concreto. Como el asentamiento disminuye a elevadas temperaturas y con el pasar del tiempo, debe realizarse inmediatamente después de preparada la mezcla. Para la presente investigación, se está considerando un asentamiento entre 3" a 5".

Así mismo, el comité ACI 211 elaboró una tabla recomendando el asentamiento que debería tener cada tipo de elemento estructural.

Tabla N° II.16. Recomendación del asentamiento por tipo de elemento.

Types of construction	Slump, in.	
	Maximum+	Minimum
Reinforced foundation walls and footings	3	1
Plain footings, caissons, and substructure walls	3	1
Beams and reinforced walls	4	1
Building columns	4	1
Pavements and slabs	3	1
Mass concrete	2	1

Fuente: (ACI) "211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete"

Si bien diversos estudios han clasificado la trabajabilidad del concreto mediante la medición del Slump, esto no define la calidad de la mezcla, ya que a diferentes proporciones de arena y piedra se pueden obtener el mismo asentamiento, pero con un comportamiento diferente. A continuación, se aprecia en la imagen lo dicho líneas arriba.

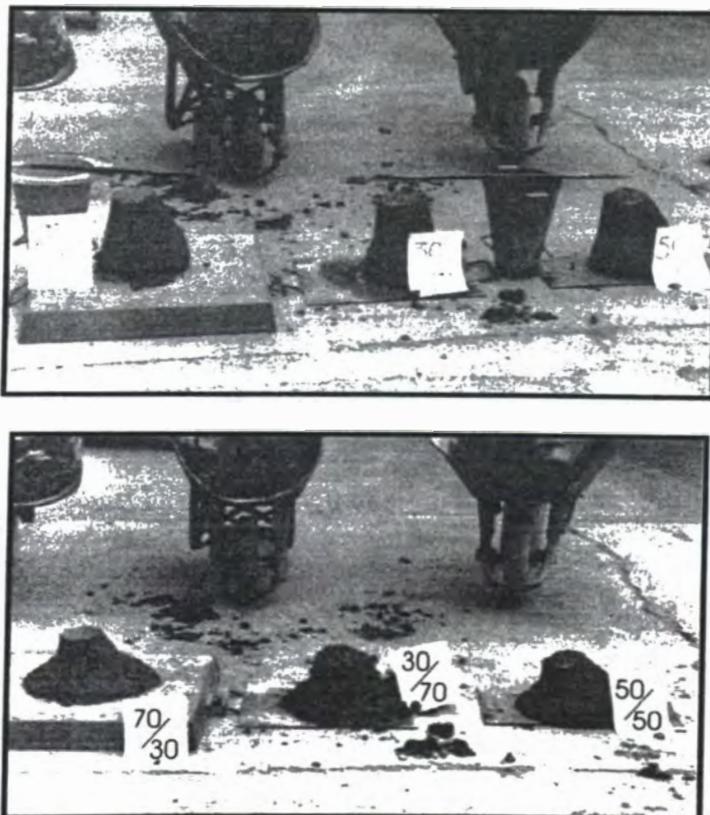


Figura N° II.4. Diseños con el mismo slump y diferentes proporciones de arena/piedra

Fuente: (Pasquel Carbajal, 1998) "Tópicos de tecnología del concreto en el Perú"

2.6.1.2 *Peso Unitario*

El peso unitario o densidad del concreto indica la cantidad de masa respecto a un determinado volumen. Matemáticamente se calcula de la siguiente manera:

$$D = \frac{(M_c - M_r)}{V_r}$$

Dónde:

D: Densidad o peso unitario

M_c : Masa del recipiente con la masa del concreto

M_r : Masa del recipiente

V_r : Volumen del recipiente

Para la realización de este ensayo, se tomaron en cuenta las recomendaciones de la NTP 339.046 (2008).

2.6.1.3 Contenido de aire – Método de presión

De acuerdo a la NTP 339.080 (2017) "Este método de ensayo comprende la determinación del contenido de aire del concreto mezclado fresco. Pretende determinar únicamente el contenido de aire del concreto mezclado fresco, sin incluir el aire que puede estar en los vacíos de las partículas del agregado". Para calcularlo directamente se utilizó el equipo de la Olla de Washington, el cual determina su valor en forma de porcentaje.

2.6.1.4 Exudación

El ensayo exudación permite determinar la cantidad de agua que se encuentra en la parte superior de la muestra de un diseño. El agua que asciende es debido a que no pudo adherirse a los demás componentes al momento de ser mezclado y compactado.

Al exudar la mezcla de concreto desde la parte exterior, disminuye la relación agua cemento favoreciendo a la resistencia, pero si el agua que exuda proviene desde la parte interior, originaría vacíos que a la larga harían al concreto menos durable. Para calcular este ensayo, se tomó en cuenta lo indicado en la NTP 339.077 (2013).

$$C = (w/W) * S$$
$$\text{Exudación, \%} = (D/C) * 100$$

Donde:

C = Masa del agua en la muestra de ensayo, en g

W = Masa total de la tanda, en kg

w = Agua de mezclado neta (la cantidad de agua total menos el agua absorbida por los agregados), en kg

S = Masa de la muestra, en g

D = Masa del agua exudación, en g, o el volumen total extraído de la muestra de ensayo, en cm³, multiplicado por 1 g/cm³

Figura N° II.5. Cálculo del porcentaje de exudación

Fuente: (INACAL) "CONCRETO. Métodos de ensayo normalizados para exudación del concreto".
NTP 339.077.

2.6.1.5 *Tiempo de fraguado*

El fraguado es el proceso que atraviesa una pasta de cemento para endurecerse (perdida de plasticidad) debido a la reacción del cemento y el agua. El tiempo en que tarda en hacerlo depende de muchos factores como; tipo de cemento, temperatura del ambiente, aditivos, entre otros.

La NTP 339.082 (2017) resume el ensayo de la siguiente manera: “Una muestra de mortero se obtendrá por tamizado de una muestra representativa del concreto fresco. El mortero será colocado en un recipiente y será almacenado a una temperatura ambiente especificada. A intervalos regulares de tiempo, se obtendrá la resistencia a la penetración del mortero utilizando agujas normalizadas. De una curva de resistencia a la penetración versus el tiempo transcurrido se determinará los tiempos de fraguado inicial y final”.

Así mismo, la NTP 339.082 (2017) también indica que “Para cada gráfico, determinar los tiempos de fraguado inicial y final como los tiempos en que la resistencia a la penetración sea igual a 3,5 MPa (500 psi) y 27,6 MPa (4,000 psi), respectivamente”.

2.6.2 *Ensayos en estado endurecido*

A continuación, se mencionará los ensayos que se plantean realizar en estado endurecido:

2.6.2.1 *Resistencia a la compresión*

Ensayo tradicional que permite medir la resistencia y la uniformidad del concreto. Al ser ensayos que cuentan con dispersión en sus resultados, debe tenerse cuidado en la elaboración y curado de las probetas.

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E060: “La resistencia de una clase determinada de concreto se considera satisfactoria si cumple con los dos requisitos siguientes: (a) Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a $f'c$. (b) Ningún resultado individual del ensayo de resistencia (promedio de dos cilindros) es menor que $f'c$ en más de 3,5 MPa cuando $f'c$ es 35 MPa o menor, o en más de 0,1 $f'c$ cuando $f'c$ es mayor a 35 MPa”. Si bien esta condición se aplica a diseños

donde se tiene establecido la resistencia del concreto, para la presente tesis solo se consideró diseños en base a la relación agua/cemento, es decir, los resultados de resistencia que se obtengan para un mismo diseño no están sujetas a cumplir una resistencia dada, solo se buscaría que estos valores no estén muy dispersos entre sí.

Así mismo, a la NTP 339.034 (2015) indica que: “Todos los cilindros de ensayo para una determinada edad de ensayo serán fracturados dentro el tiempo permisible de tolerancias prescritas como sigue:”

Tabla N° II.17. Edad del ensayo resistencia a la compresión.

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	± 0,5 h ó 2,1 %
3 d	± 2 h ó 2,8 %
7 d	± 6 h ó 3,6 %
28 d	± 20 h ó 3,0 %
90 d	± 48 h ó 2,2%

Fuente: (INACAL) “CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas”. NTP 339.034.

Al ensayar las muestras de probetas, están pueden fallar de diferentes formas. A continuación, en la Figura N° II.6 se muestran los tipos de falla que se pueden presentar:

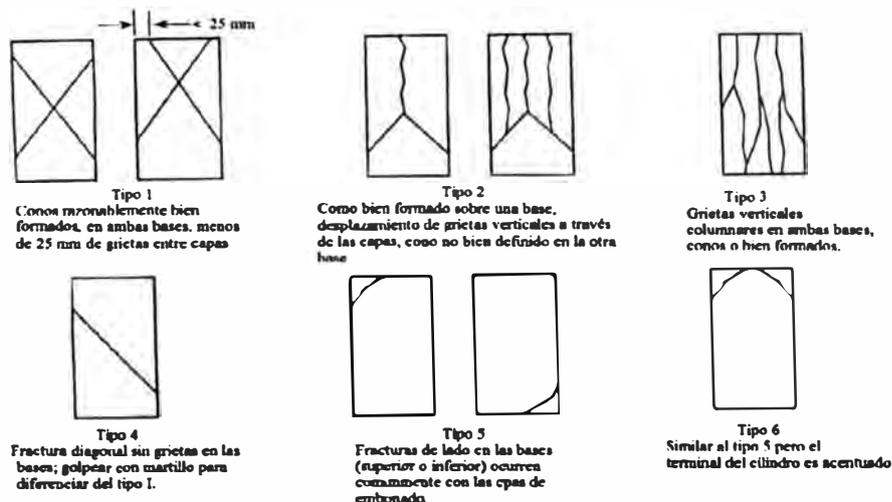


Figura N° II.6. Tipos de falla en las probetas

Fuente: (INACAL) “CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas”. NTP 339.034.

En caso que se obtengan probetas cuyas superficies extremas no estén completamente planas, se tendrá que usar equipos y/o materiales que permitan su correcto ensayo, las siguientes normas indican que debemos hacer en caso se encuentre con este problema:

- NTP 339.037, Práctica normalizada para el refrenado de testigos cilíndricos de concreto: “Esta Norma Técnica Peruana se aplica para establecer la manera de proporcionar superficies de carga planas en los cilindros moldeados con hormigón (concreto) fresco, cilindros endurecidos o núcleos extraídos del concreto cuando las superficies del extremo de carga no cumplan con los requisitos de planitud y perpendicularidad especificados en las normas aplicables”.
- NTP 339.216, Práctica normalizada para la utilización de cabezales con almohadillas de neopreno en el ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido (EQV. ASTM C1231/C1231M:2014): “Esta NTP provee el uso de un sistema de almohadillas para el refrenado de cilindros de concreto endurecido para los ensayos elaborados de conformidad con las NTP 339.033 ó NTP 339.183 en reemplazo del sistema de refrenado convencional descrito en la NTP 339.037”.

Si bien las probetas convencionales son de una medida de 0.15x0.30 m, para los ensayos realizados en laboratorio se elaboraron testigos de 0.10x0.20 m los cuales también son usados en desarrollos de investigación y se pueden aplicar las mismas normas antes mencionadas. El valor de la resistencia para un determinado espécimen se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{\text{Fuerza aplicada (kgf)}}{\text{Area Media (cm}^2\text{)}}$$

Por último, las resistencias a compresión de los testigos están sujetas a correcciones tal como lo menciona la NTP 339.034 (2015) “Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla”.

Tabla N° II.18. Tabla de corrección de resistencias.

L/D ^A	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

^AUse la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuente: (INACAL) "CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas". NTP 339.034.

2.6.2.2 Tracción por compresión diametral

La NTP 339.084 (2012) resume el ensayo de la siguiente manera: "Esté método de ensayo consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral a toda la longitud de un espécimen cilíndrico de concreto, a una velocidad prescrita, hasta que ocurra la falla. La falla por tracción ocurre antes que la de compresión porque las áreas de aplicación de la carga están en un estado de compresión triaxial, lo que permite soportar esfuerzo de compresión mucho mayor que el resultado conseguido con un ensayo de compresión uniaxial".

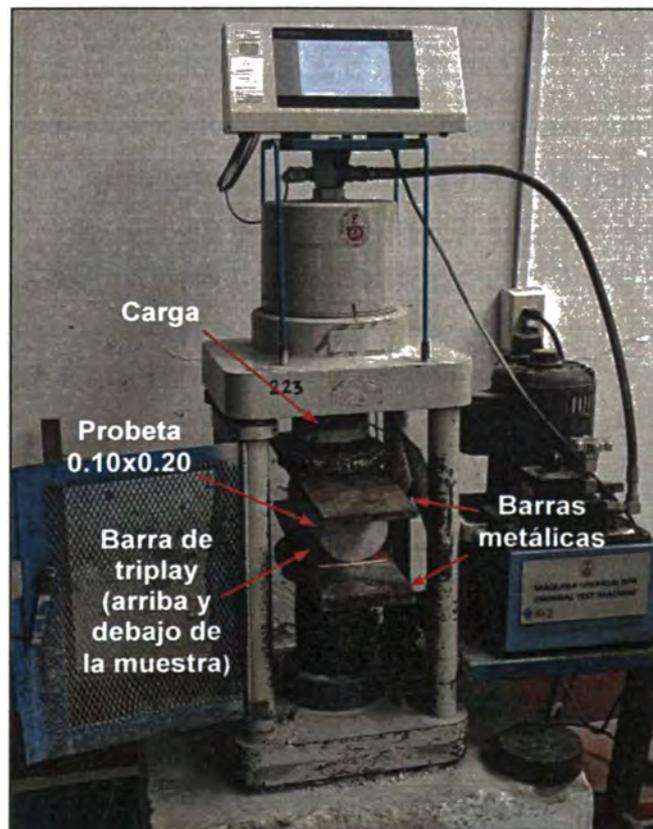


Figura N° II.7. Esquema del ensayo de compresión diametral.

Fuente: Elaboración propia.

Este ensayo tiene por objetivo determinar la resistencia a la tracción por compresión diametral (tracción indirecta) mediante la aplicación de una carga axial. La principal ventaja de este ensayo es lo sencillo de su mecánica, además que utiliza el mismo equipo que otros ensayos (ensayo de resistencia a la compresión). Se calcula de la siguiente manera:

$$T = \frac{2P}{\pi ld}$$

Donde:

T	=	Resistencia a la tracción indirecta, MPa
P	=	Máxima carga aplicada indicada por la máquina, N
l	=	Longitud, mm, y
d	=	Diámetro, mm

Figura N° II.8. Cálculo de la resistencia a la tracción indirecta.

Fuente: (INACAL) "CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica".
NTP 339.084.

Todos los ensayos mencionados, tanto en los materiales como en los ensayos en el estado fresco y endurecido, permiten determinar la calidad del concreto y ayuda a tener un mejor panorama cuando se tiene que aceptar o rechazar un diseño. Así mismo, en una construcción se tiene que elaborar un plan de control de calidad de los componentes del concreto, para así poder predecir su comportamiento a futuro y no tener ningún inconveniente.

2.7 DISPERSION DE DATOS DE LABORATORIO

"El coeficiente de variación hace posible expresar el grado de dispersión en valor porcentual mejor que un valor absoluto. Este también puede ser utilizado como un índice del grado de control y el estándar general de calidad del hormigón" (Sharma, R. C., 1973)

De acuerdo a la NTP 339.034 "El coeficiente de variación dentro del ensayo representa la variación esperada de mediciones de resistencia en cilindros

preparadas de una misma muestra de concreto y ensayadas por un laboratorio a una misma edad".

Así mismo, para poder interpretar la dispersión de los valores de la variable (datos de rotura de probetas), tomamos como referencia la Tabla N° II.19 el cual indica la calidad de los datos en base al coeficiente de variación:

Tabla N° II.19. Control estándar del concreto en base al coeficiente de variación.

Clase de operaciones	Coeficiente de variación para los diferentes estándares de control			
	excelente	bueno	medio	pobre
Variación total:				
(I) construcción en general	inferior a 10,0	10,0 a 15,0	15,0 a 20,0	sobre 20,0
(II) control de laboratorio	inferior a 5,0	5,0 a 7,0	7,0 a 10,0	sobre 10,0
Variaciones dentro de una misma mezcla:				
(I) control en obra	inferior a 4,0	4,0 a 5,0	5,0 a 6,0	sobre 6,0
(II) control de laboratorio	inferior a 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	sobre 5,0

Fuente: (SHARMA, R. C., 1973) "Evaluación de los resultados de los ensayos a compresión del hormigón de obra", España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Vale precisar que, a mayor coeficiente de variación, mayor heterogeneidad de los datos y a menor coeficiente de variación, mayor homogeneidad.

CAPÍTULO III : PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

En base al fundamento teórico visto en el Capítulo II, se presentan todos los ensayos realizados para la obtención de las propiedades físicas de los agregados fino, grueso y global.

3.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL

A manera de resumen, se presenta la Tabla N° III.1 indicando todas las propiedades del agregado fino:

Tabla N° III.1. Propiedades físicas del agregado fino.

Módulo de Finura	2.72
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1,639
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1,803
Peso Específico (gr/cm ³)	2.64
Contenido de Humedad (%)	4.17
Porcentaje de Absorción (%)	0.42

Fuente: Elaboración propia.

A manera de resumen, se presenta la Tabla N° III.2 indicando todas las propiedades del agregado grueso:

Tabla N° III.2. Propiedades físicas del agregado grueso.

Tamaño Nominal Máximo	1"
Módulo de Finura	7.20
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1,507
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1,593
Peso Específico (gr/cm ³)	2.65
Contenido de Humedad (%)	0.65
Porcentaje de Absorción (%)	1.43

Fuente: Elaboración propia.

Además, en la Tabla N° III.3 se indican las propiedades de la combinación de agregados (agregado global):

Tabla N° III.3. Propiedades del agregado global.

Tamaño Nominal Máximo	1"
Módulo de Finura	4.96
% Agregado grueso	50
% Agregado fino	50

Fuente: Elaboración propia.

3.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tomando como base las recomendaciones descritas en las NTP 400.012 y NTP 400.037, se procedió a realizar el ensayo de granulometría.

3.2.1 Análisis granulométrico del agregado fino

En la Tabla N° III.4 se indica la muestra del agregado a través de los diferentes tamices normalizados, además de los límites huso de acuerdo a la NTP 400.037 y el resultado del M.F.

Tabla N° III.4. Ensayo de granulometría para el agregado fino.

Tamiz		Peso Ret. (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	% Pasa Huso ASTM
(Pulg)	(mm)					
3/8"	9.50	0	0	0	100.00	100 - 100
N° 4	4.75	11.80	1.97	1.97	98.03	95 - 100
N° 8	2.38	68.20	11.37	13.33	86.67	80 - 100
N° 16	1.19	130.80	21.80	35.13	64.87	50 - 85
N° 30	0.60	137.20	22.87	58.00	42.00	25 - 60
N° 50	0.30	111.70	18.62	76.62	23.38	5 - 30
N° 100	0.15	62.10	10.35	86.97	13.03	0 - 10
FONDO	-	78.20	13.03	100.00	0	-

TOTAL		600.00	M.F.	2.70
--------------	--	---------------	-------------	-------------

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° III.1, se muestra la curva granulométrica obtenida del agregado fino junto con los límites de huso de acuerdo a la NTP 400.037:

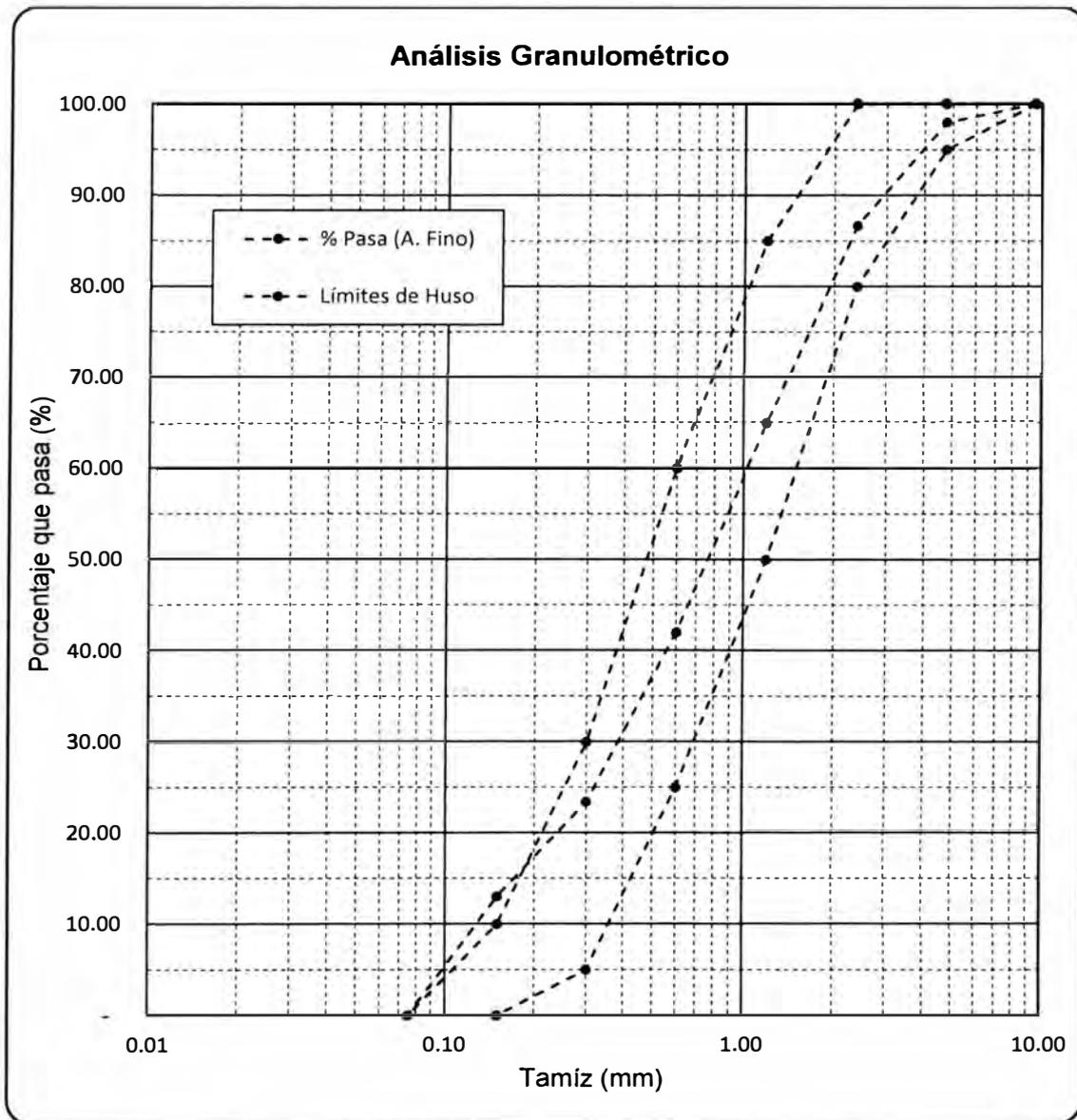


Figura N° III.1. Curva granulométrica del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la Figura N° III.2 se visualiza la colocación de la muestra del agregado fino en el equipo de análisis granulométrico para empezar a realizar el ensayo.



Figura N° III.2. Ensayo análisis granulométrico agregado fino.

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Análisis granulométrico del agregado grueso

En la Tabla N° III.5, se indican las muestras del agregado que pasan por los diferentes tamices normalizados, además de los límites de huso de acuerdo a la NTP 400.037 y del resultado del M.F.

Tabla N° III.5. Ensayo de granulometría para el agregado grueso.

Tamiz		Peso Ret. (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	% Pasa Huso ASTM
(Pulg)	(mm)					
3"	76.20	-	-	-	-	-
2 1/2"	63.50	-	-	-	-	-
2"	50.80	-	-	-	-	-
1 1/2"	38.10	0	0	0	100.00	100 - 100
1"	25.40	500.00	5.00	5.00	95.00	90 - 100
3/4"	19.05	2,970.00	29.70	34.70	65.30	40 - 85
1/2"	12.70	4,095.00	40.95	75.65	24.35	10 - 40
3/8"	9.50	1,154.00	11.54	87.19	12.81	0 - 15
N° 4	4.75	1,252.00	12.52	99.71	0.29	0 - 5
N° 8	2.38	0	0	99.71	0.29	0 - 0
FONDO	-	29.00	0.29	100.00	0	-

TOTAL		10,000.00	M.F.	7.22
--------------	--	------------------	-------------	-------------

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° III.3, se muestra la curva granulométrica obtenida del agregado grueso junto con los límites de huso de acuerdo a la NTP 400.037:

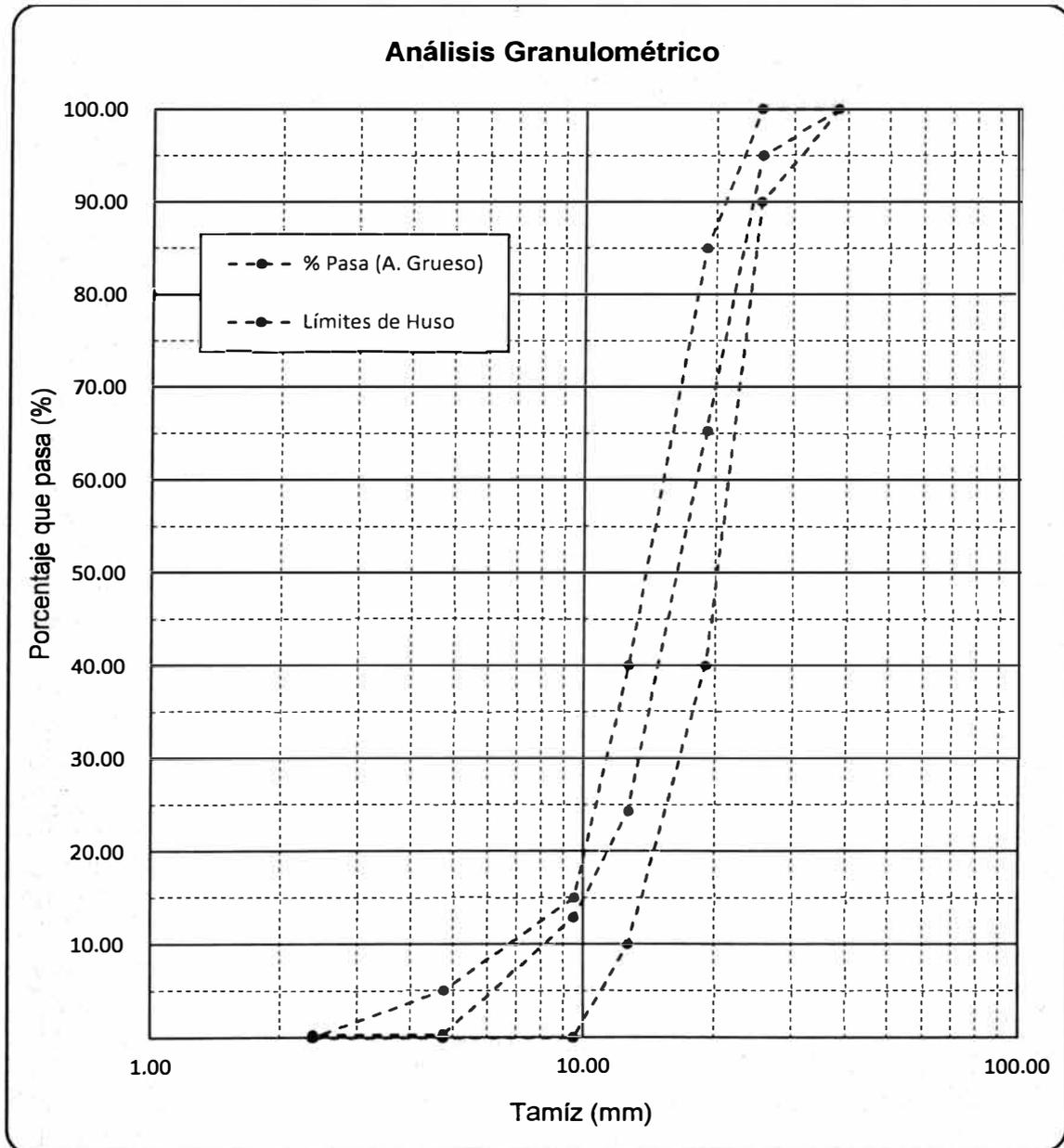


Figura N° III.3. Curva granulométrica del agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, en la Figura N° III.4 se visualiza la muestra del agregado grueso a hacer utilizado en el ensayo de análisis granulométrico.



Figura N° III.4. Muestra de agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Análisis granulométrico de la combinación de agregados

De acuerdo a la Figura N° III.6, la mejor proporción entre arena y piedra es de 50%-50%, de este resultado se obtiene la Tabla N° III.6 en el cual se muestra la granulometría de la combinación de agregados: el %Ret. de la arena y piedra, %Ret.*0.50, la combinación del %Ret. y del %Pasa.

Tabla N° III.6. Granulometría de la combinación de agregados.

Tamiz		% Ret.		% Ret. * 0.50		% Ret. Combi.	% Ret. Acum.	% Pasa	% Pasa Huso
(Pulg)	(mm)	Arena	Piedra	Arena	Piedra				
1 1/2"	38.10	0	-	0	-	0	0	100.00	100-100
1"	25.40	5	-	2.5	-	2.50	2.50	97.50	95-100
3/4"	19.05	29.7	-	14.85	-	14.85	17.35	82.65	70-92.5
1/2"	12.70	40.95	-	20.475	-	20.48	37.83	62.18	55-70
3/8"	9.50	11.54	0	5.77	-	5.77	43.60	56.41	50-57.5
N° 4	4.75	12.52	1.97	6.26	0.98	7.24	50.84	49.16	47.5-52.5
N° 8	2.38	0	11.37	-	5.68	5.68	56.52	43.48	40-50
N° 16	1.19	-	21.80	-	10.90	10.90	67.42	32.58	25-42.5
N° 30	0.60	-	22.87	-	11.43	11.43	78.86	21.15	12.5-30
N° 50	0.30	-	18.62	-	9.31	9.31	88.16	11.84	2.5-15
N° 100	0.15	-	10.35	-	5.18	5.18	93.34	6.66	0-5
FONDO	-	0.29	13.03	0.145	6.52	6.66	100.00	0	0-0

M.F.	4.96
-------------	-------------

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° III.5, se muestra la curva granulométrica obtenida de la combinación de agregados, además de la curva granulométrica de la combinación de los husos.

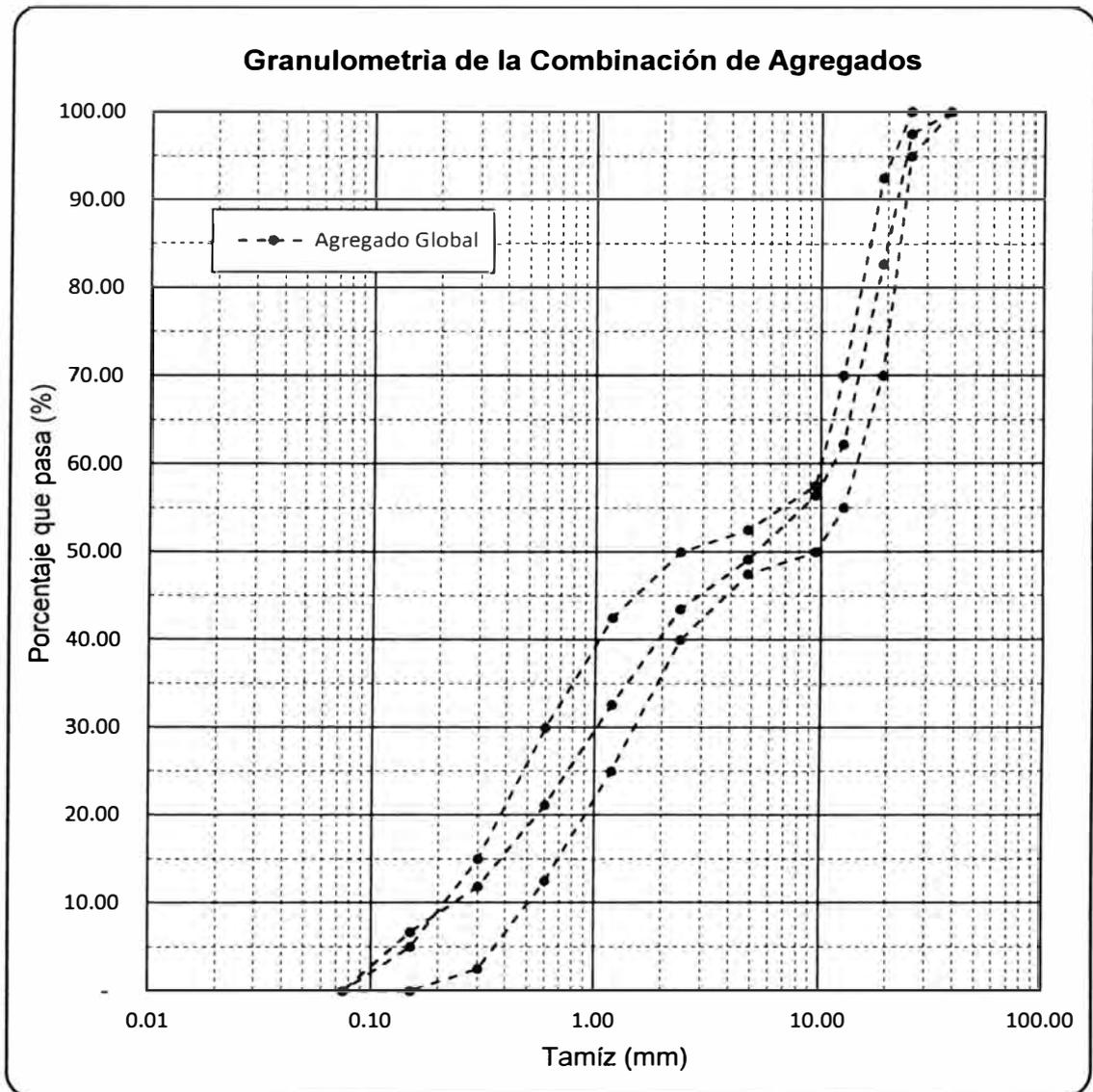


Figura N° III.5. Curva granulométrica del agregado global.

Fuente: Elaboración propia.

3.3 P.U.C. DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

En el Tabla N° III.7 se muestra las diferentes proporciones de arena y piedra que se tomaron en cuenta para determinar la máxima compactación de la combinación de agregados, usando para ello en un recipiente de 1/3 pie³.

Tabla N° III.7. Peso Unitario Compactado de la combinación de agregados.

% Piedra	40.00	46.00	50.00	54.00	60.00
% Arena	60.00	54.00	50.00	46.00	40.00
P.U.C. (kgm³)	2027.66	2031.91	2051.06	2029.72	2011.70

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El volumen del recipiente metálico utilizado en el laboratorio fue de 1/3 pie³.

La Figura N° III.6 ilustra lo obtenido de la Tabla N° III.7, donde se muestra que la mayor compactación se logra cuando se combina el 50% de agregado grueso con el 50% del agregado fino.

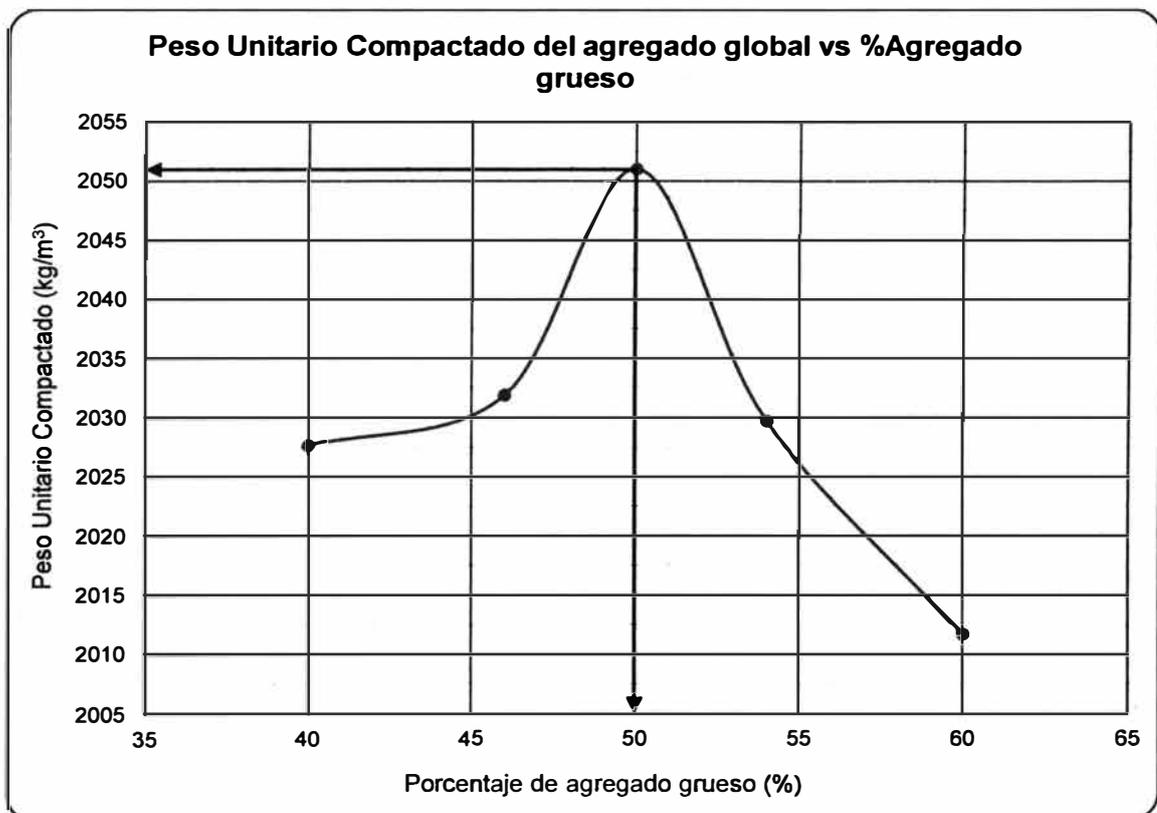


Figura N° III.6. P.U.C. del agregado global vs % Peso Agregado Grueso.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a este ensayo, se determinó que la mejor proporción de arena y piedra que logran una adecuada distribución de sus partículas al combinarlas, es la siguiente:

Piedra: 50%

Arena: 50%

Así mismo, en la Figura N° III.7 se visualiza la muestra combinada del agregado fino y grueso para realizar en el ensayo de máxima compactación agregado global.



Figura N° III.7. Ensayo P.U.C. de la combinación de agregados.

Fuente: Elaboración propia.

3.4 PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

3.4.1 Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino

En la Tabla N° III.8 se muestran los datos obtenidos para la determinación del peso específico y del porcentaje de absorción del agregado fino.

Tabla N° III.8. Peso Especifico y porcentaje de absorción agregado fino.

Peso de la arena superficialmente seca	500.00 gr
Peso de la arena superficialmente seca + peso del balón + peso del agua	1,008.70 gr
Peso del balón	197.20 gr
Peso del agua (W)	311.50 gr
Peso de la arena seca al horno (A)	497.90 gr
Volumen del balón (V)	500.00 ml
Peso específico de masa: $A/(V-W)$	2.64 gr/cm³
Peso específico de masa superficialmente seco: $500/(V-W)$	2.65 gr
Peso específico aparente: $A/((V-W) - (500-A))$	2.67 gr
Porcentaje de absorción: $(500-A) \times 100/A$	0.42 %

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, en la Figura N° III.8 se muestra la realización del ensayo de peso específico del agregado fino.



Figura N° III.8. Determinación peso específico del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso

En la Tabla N° III.9 se muestran los datos obtenidos para la determinación del peso específico y del porcentaje de absorción del agregado grueso.

Tabla N° III.9. Peso Específico y porcentaje de absorción agregado grueso.

Peso de la muestra secada al horno (A)	3,943.70	gr
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (B)	4,000.00	gr
Peso de la muestra saturada en agua + Peso de la canastilla	-	-
Peso de la canastilla 7 cm	-	-
Peso de la muestra saturada en agua (C)	2,513.00	gr
Peso específico de masa: $A/(B-C)$	2.65	gr/cm³
Peso específico de masa superficialmente seco: $B/(B-C)$	2.69	gr
Peso específico aparente: $A/(A-C)$	2.76	gr
Porcentaje de absorción: $(B-A) \times 100/A$	1.43	%

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, en la Figura N° III.9 se aprecia el peso de la muestra secada al horno para la realización del ensayo de peso específico del agregado grueso.

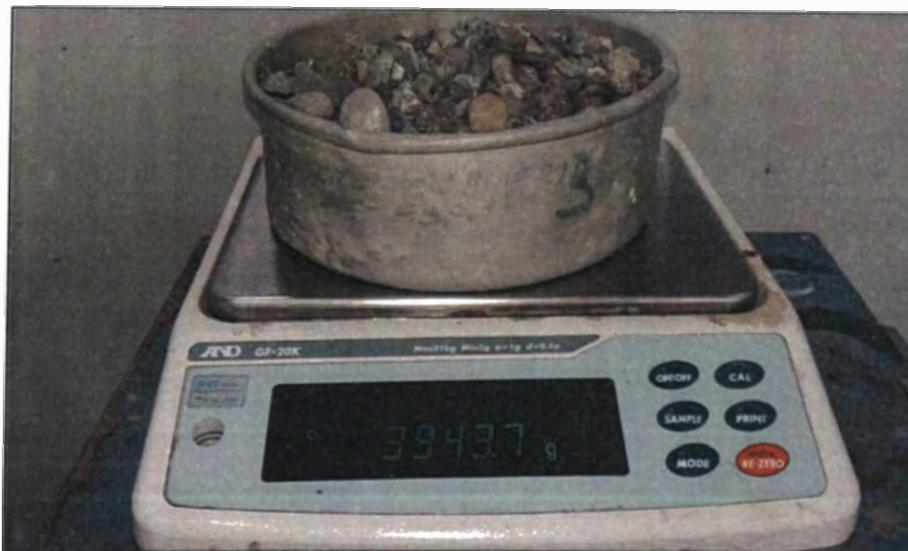


Figura N° III.9. Determinación peso específico del agregado grueso.
Fuente: Elaboración propia.

3.5 PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE HUMEDAD

Como se vio en el fundamento teórico, la NTP 400.017 ayuda a realizar un adecuado ensayo para el Peso Unitario, así como, la NTP 339.185 para el ensayo de Contenido de Humedad.

3.5.1 Peso unitario y contenido de humedad del agregado fino

En la Tabla N° III.10 se muestran los datos obtenidos en el ensayo del Peso Unitario Suelto.

Tabla N° III.10. Peso Unitario Suelto del agregado fino.

Peso de la muestra + Recipiente	(kg)	6,2170
Peso del recipiente	(kg)	1.5760
Peso de la muestra	(kg)	4.6410
Volumen del recipiente	(m ³)	0.002832
Peso unitario suelto	(kg/m³)	1,639.00

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N° III.11 se muestran los datos obtenidos en el ensayo del Peso Unitario Compactado.

Tabla N° III.11. Peso Unitario Compactado del agregado fino.

Peso de la muestra + Recipiente	(kg)	6.6820
Peso del recipiente	(kg)	1.5760
Peso de la muestra	(kg)	5.1060
Volumen del recipiente	(m ³)	0.002832
Peso unitario compactado	(kg/m³)	1,803.00

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Tanto en el ensayo de PUS y PUC se utilizó el mismo volumen de recipiente de 1/10 pie³.

Así mismo, en la Figura N° III.10 se aprecia el peso de la muestra del agregado fino una vez realizado el ensayo de Peso Unitario Compactado.



Figura N° III.10. Muestra Peso Unitario Compactado.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N° III.12 se muestran los datos obtenidos en el ensayo del contenido de humedad.

Tabla N° III.12. Contenido de Humedad del agregado fino.

Peso muestra en ambiente	(g)	500.00
Peso muestra seca al horno	(g)	479.17
Peso agua perdida	(g)	20.83
Contenido de humedad	(%)	4.17

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Peso unitario y contenido de humedad del agregado grueso

En la Tabla N° III.13 se muestran los datos obtenidos en el ensayo del peso unitario suelto.

Tabla N° III.13. Peso Unitario Suelto del agregado grueso.

Peso de la muestra + Recipiente	(kg)	19.0000
Peso del recipiente	(kg)	4.7800
Peso de la muestra	(kg)	14.2200
Volumen del recipiente	(m ³)	0.00944
Peso unitario suelto	(kg/m³)	1,507.00

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N° III.14 se muestran los datos obtenidos en el ensayo del peso unitario compactado.

Tabla N° III.14. Peso Unitario Compactado del agregado grueso.

Peso de la muestra + Recipiente	(kg)	19.8200
Peso del recipiente	(kg)	4.7800
Peso de la muestra	(kg)	15.0400
Volumen del recipiente	(m ³)	0.00944
Peso unitario suelto	(kg/m³)	1,593.00

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Tanto en el ensayo de PUS y PUC se utilizó en mismo volumen de recipiente de 1/3 pie³.

En la Tabla N° III.15 se muestran los datos obtenidos en el ensayo del contenido de humedad.

Tabla N° III.15. Contenido de Humedad del agregado grueso.

Peso muestra en ambiente	(g)	2,000.00
Peso muestra seca al horno	(g)	1,987.00
Peso agua perdida	(g)	13.00
Contenido de humedad	(%)	0.65

Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la Figura N° III.11 se aprecia la muestra del ensayo de peso unitario, llenado parcial de la muestra del agregado grueso al recipiente de volumen 1/3 pie³.



Figura N° III.11. Muestra Peso Unitario del agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV : DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla fue realizado con el fin de tener un concreto patrón con el cual analizar los efectos causado por el uso del aditivo acelerante de fragua y de resistencias. En este Capítulo se muestra el procedimiento por el cual se optó para la realización del diseño de mezcla, así como, las proporciones obtenidas para cada diseño patrón y de diseños incorporando una proporción de aditivos, todos ellos considerando un asentamiento entre 3" a 5".

4.1 PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE MEZCLA

4.1.1 Obtención de las propiedades físicas de los agregados

Para empezar con el diseño, debemos tener todas las propiedades físicas de los agregados. En la Tabla N° IV.1 se muestra, a manera de resumen, el resultado de todas las propiedades que se calcularon:

Tabla N° IV.1. Propiedades físicas del agregado fino y grueso.

Propiedades	Arena	Piedra
P.E. (gr/cm ³)	2.64	2.65
P.U.S (kg/m ³)	1,639	1,507
P.U.C (kg/m ³)	1,803	1,593
CH	4.17	0.65
Ab	0.42	1.43
T.N.M.		1"
P.E.cem (kg/m ³)	3130	

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Proporción Arena Piedra

De acuerdo a la Figura N° III.6, se determinó que la mejor proporción arena y piedra es: 50% arena y 50% piedra.

4.1.3 Relación a/c

Seleccionamos la relación a/c con la cual vamos a realizar el diseño, para este caso escogemos a/c =0.45.

4.1.4 Aire Atrapado en el concreto

En los diseños de mezcla elaborados, se está considerando aire atrapado de acuerdo a como lo indica la Tabla N° IV.2:

Tabla N° IV.2. Determinación del contenido de aire para el diseño de mezcla.

ACI COMMITTEE REPORT								
Table 6.3.3 — Approximate mixing water and air content requirements for different slumps and nominal maximum sizes of aggregates								
Water, lb/yd ³ of concrete for indicated nominal maximum sizes of aggregate								
Slump, in.	½ in. ^a	½ in. ^a	¾ in. ^a	1 in. ^a	1-½ in. ^a	2 in. ^a	3 in. ^b	6 in. ^c
Non-air-entrained concrete								
1 to 2	350	335	315	300	275	260	220	190
3 to 4	385	365	340	325	300	285	245	210
6 to 7	410	385	360	340	315	300	270	—
More than 7 ^a	—	—	—	—	—	—	—	—
Approximate amount of entrapped air in non-air-entrained concrete, percent	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Air-entrained concrete								
1 to 2	305	295	280	270	250	240	205	180
3 to 4	340	325	305	295	275	265	225	200
6 to 7	365	345	325	310	290	280	260	—
More than 7 ^a	—	—	—	—	—	—	—	—
Recommended averages ^d total air content, percent for level of exposure:								
Mild exposure	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5 ^{e,e,f}	1.0 ^{e,e,f}
Moderate exposure	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5 ^{e,e,f}	3.0 ^{e,e,f}
Severe exposure ^g	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5 ^{e,e,f}	4.0 ^{e,e,f}

Fuente: (ACI) "211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete"

En el agregado grueso se determinó que el tamaño máximo nominal es de 1", lo que conlleva a considerar 1.5% de aire atrapado en el diseño de mezcla.

4.1.5 Cantidad de cemento y agua

Se precisa que, inicialmente para determinar la cantidad de cemento y agua adecuados para el diseño, se debe realizar un proceso iterativo hasta verificar que el diseño cumpla con el asentamiento planteado (3" – 5"). Comprobado que el concreto cumpla con el slump se da por aceptado el diseño.

Para empezar a calcular el diseño óptimo, procedemos con el primer tanteo, para ello obtenemos la cantidad de agua de 340 lb/yd³ de la Tabla N° IV.2. Luego procedemos a realizar la siguiente conversión:

$$340 \text{ lb/yd}^3 \leftrightarrow 201.71 \text{ kg/m}^3$$

Como el diseño es para un 1 m^3 de concreto, se necesitaría 201.71 kg de agua. De acuerdo a la tabla confeccionada por el Comité ACI 211 (Ver Tabla N° II.13) para la relación $a/c = 0.45$ se tiene referencialmente una resistencia de $f'c \approx 350\text{-}400 \text{ kg/cm}^2$. Como la relación a/c es 0.45 , la cantidad de cemento sería de 448.24 kg .

4.1.6 Pre-Diseño

Se tiene las cantidades de agua y cemento, lo que faltaría es determinar la cantidad de arena y piedra en el diseño de mezcla para 1 m^3 .

Tabla N° IV.3. Pre-diseño para 1 m^3 .

Material	Cantidad	Peso Específico (kg/m^3)	Vol. Ab. (m^3)
Cemento	448.24	3130	0.1432
Agua	201.71	1000	0.2017
Arena	?	2640	?
Piedra	?	2650	?
aire			0.0150
Suma			0.3599
Total (m^3)			1.0000

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el cuadro, la suma de todos los volúmenes absolutos calculados llega a 0.3599 m^3 , faltando 0.6401 m^3 para 1 m^3 . Se sobreentiende que el volumen faltante es el de la arena y piedra. Para calcular las cantidades de arena y piedra se prosigue de la siguiente manera:

Tabla N° IV.4. Cálculo de la cantidad de arena y piedra.

Vol. Ab. (m^3)	Material	Proporción (%)	Vol. Ab. (m^3)	Peso Específico (kg/m^3)	Cantidad (kg)
0.6401	Arena	50	0.3200	2640	845
	Piedra	50	0.3200	2650	848

Fuente: Elaboración propia.

Una vez halladas las cantidades de todos los componentes del diseño de mezcla, se procede a calcular las correcciones por contenido de humedad y absorción a los agregados y a la cantidad de agua. Luego, para llevarlo a laboratorio calculamos las proporciones en que intervienen para una cantidad aproximada de 45 kg por tanda o lo que es lo mismo para un volumen de 0.020 m³ de concreto, lo que equivaldría alrededor de 9 probetas de 0.10x0.20 m.

Tabla N° IV.5. Proporción del diseño de mezcla para 1 m³.

Material	Dosificación seca (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Ab. (m ³)	%C.H.	%Ab.	Dosificación Obra (kg)
Cemento	448.24	3130	0.1432			448.24
Agua	201.71	1000	0.2017	40.75	15.68	176.64 ⁽¹⁾
Arena	845	2640	0.3200	35.23	3.55	880.14 ⁽²⁾
Piedra	848	2650	0.3200	5.51	12.13	853.62 ⁽³⁾
Aire	1.50	1.00%	0.0150	-	-	-

$$\Sigma=1.000$$

Fuente: Elaboración propia.

Si bien ya se tiene las cantidades y proporciones de los materiales, se debe realizar una tanda en el laboratorio para saber el slump que resulta de este diseño. Si el asentamiento obtenido no es el esperado, se debe variar la cantidad de agua sin alterar la relación a/c hasta encontrar el diseño que proporcione el slump requerido.

En el diseño descrito se obtuvo un asentamiento de 0", es decir, una mezcla muy seca. Como se explicó líneas arriba, el cálculo del diseño de mezcla es un proceso iterativo, si el slump medido no resulta ser el esperado, se tendrá que variar la cantidad de agua hasta encontrar el diseño óptimo, sin alterar la relación a/c.

A continuación se muestra la Tabla N° IV.6 la cual presenta, a manera de resumen, los tanteos realizados para determinar la cantidad de agua y cemento que cumplan con el asentamiento planteado inicialmente (3" a 5"),

(1) La cantidad de agua en obra es igual a: $P_{obra\ agua} = P_{seco\ agua} - (\%C.H. - \%Ab.)$

(2) La cantidad de arena en obra es igual a: $P_{obra\ arena} = P_{seco\ arena} + P_{seco\ arena} * \%C.H.$

(3) La cantidad de piedra en obra es igual a: $P_{obra\ piedra} = P_{seco\ piedra} + P_{seco\ piedra} * \%C.H.$

hasta el último tanteo cuyo resultado de asentamiento está dentro del rango establecido:

Tabla N° IV.6. Cantidad de agua y cemento (dosificación seca) para la relación a/c de 0.45.

N°	Agua (kg)	Cemento (kg)	Slump (pulg)
1	201.71	448.24	0
2	220.00	488.89	1 1/4
3	240.00	533.33	2
4	260.00	577.78	2 3/4
5	287.00	638.00	3 1/4

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados de la Tabla N° IV.6 se puede obtener, gráficamente, la tendencia de estos valores:

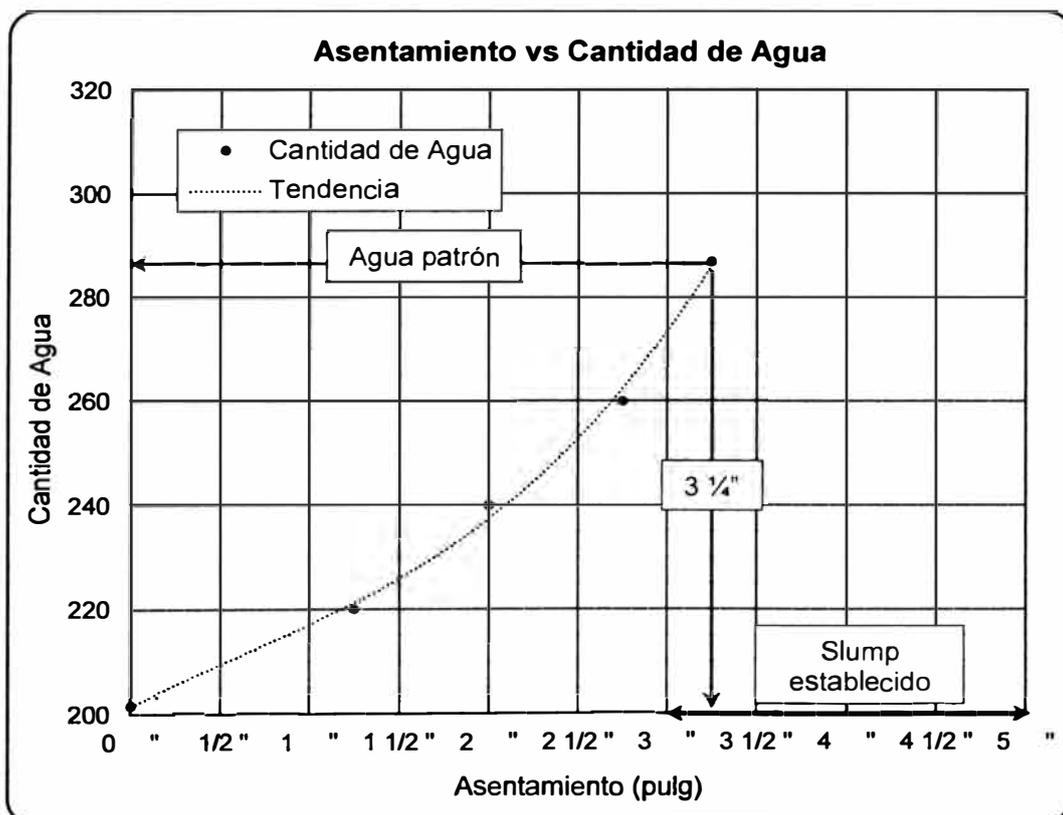


Figura N° IV.1. Relación Asentamiento y Cantidad de Agua para a/c=0.45.

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, se pudo realizar más diseños y tratar de conseguir un slump ligeramente mayor, pero esto haría que se incremente la cantidad de agua,

por consiguiente, mayor cantidad de cemento lo cual no es recomendable, ya que, haría el diseño muy costoso. Finalmente se trabaja con el último tanteo de las cantidades agua (287 kg) y cemento (638 kg), ya que, este diseño permite obtener un asentamiento dentro del rango establecido.

Ahora para el diseño de mezcla con aditivo, se realiza el mismo procedimiento, considerando la cantidad en que interviene el aditivo. Igualmente, todos los volúmenes de los componentes tienen que sumar 1 m³.

4.1.7 Nomenclatura optada para los diseños de mezcla realizados

Para un mejor orden, se plantea la siguiente nomenclatura para todos los diseños realizados:

Tabla N° IV.7. Nomenclatura del diseño de mezcla.

Diseño de mezcla	Descripción
Diseño (A0)	Diseño de mezcla del concreto patrón (concreto sin aditivo).
Diseño (A1)	Diseño de mezcla con el primer porcentaje de aditivo (1.20% en peso del cemento).
Diseño (A2)	Diseño de mezcla con el segundo porcentaje de aditivo (2.40% en peso del cemento).

Fuente: Elaboración propia.

Se menciona que, a partir de aquí en adelante se colocarán los diseños definitivos, los cuales han cumplido con el slump planteado inicialmente (3" - 5").

4.2 DISEÑO (A0) – 0% de aditivo

El diseño de mezcla del concreto patrón está elaborado únicamente con los cuatro componentes principales del concreto, cemento agregado grueso agregado fino y agua (incluyendo las correcciones realizadas por absorción y contenido de humedad en las dosificaciones), adicionando a ello el porcentaje de aire atrapado. El diseño se calculó inicialmente para 1 m³, para luego determinar las proporciones para una tanda aproximada de 45 kg (0.020 m³).

4.2.1 Diseño (A0) para la relación a/c = 0.45

En la Tabla N° IV.8 se muestran los cálculos del diseño realizado y llevado a laboratorio:

Tabla N° IV.8. Diseño patrón (A0), a/c = 0.45.

Diseño Patrón (A0) a/c = 0.45, para 0.020 m³								
Material	Dosificación seca (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Ab. (m ³)	D.U.S	Dosificación Obra (kg)	D.U.O	Laboratorio (9 probetas de .10x.20)	Por Bolsa Cemento (42.5xD.U.O)
Cemento	638.0	3130	0.2038	1.00	638.0	1.00	12.76 kg	1.00 bl
Agua	287.0	1000	0.2870	0.45	267.6	0.42	5.35 lt	17.83 lt
Arena	652.3	2640	0.2471	1.02	679.5	1.07	13.60 kg	45.26 kg
Piedra	654.8	2650	0.2471	1.03	659.0	1.03	13.19 kg	43.90 kg
Aire	1.50	1.00%	0.0150					

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Diseño (A0) para la relación a/c = 0.55

En la Tabla N° IV.9 se muestran los cálculos del diseño realizado y llevado a laboratorio:

Tabla N° IV.9. Diseño patrón (A0), a/c = 0.55.

Diseño Patrón (A0) a/c = 0.55, para 0.020 m³								
Material	Dosificación seca (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Ab. (m ³)	D.U.S	Dosificación Obra (kg)	D.U.O	Laboratorio (9 probetas de .10x.20)	Por Bolsa Cemento (42.5xD.U.O)
Cemento	464.0	3130	0.1482	1.00	464.0	1.00	9.27 kg	1.00 bl
Agua	255.0	1000	0.2550	0.55	232.2	0.50	4.64 lt	21.27 lt
Arena	767.9	2640	0.2909	1.65	799.9	1.72	15.98 kg	73.27 kg
Piedra	770.8	2650	0.2909	1.66	775.8	1.67	15.50 kg	71.06 kg
Aire	1.50	1.00%	0.0150					

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Diseño (A0) para la relación a/c = 0.65

En la Tabla N° IV.10 se muestran los cálculos del diseño realizado y llevado a laboratorio:

Tabla N° IV.10. Diseño patrón (A0), a/c = 0.65.

Diseño Patrón (A0) a/c = 0.65, para 0.020 m³								
Material	Dosificación seca (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Ab. (m ³)	D.U.S	Dosificación Obra (kg)	D.U.O	Laboratorio (9 probetas de .10x.20)	Por Bolsa Cemento (42.5xD.U.O)
Cemento	369.0	3130	0.1179	1.00	369.0	1.00	7.39 kg	1.00 bl
Agua	240.0	1000	0.2400	0.65	215.4	0.58	4.31 lt	24.81 lt

Arena	827.8	2640	0.3136	2.24	862.3	2.34	17.26 kg	99.32 kg
Piedra	830.9	2650	0.3136	2.25	836.3	2.27	16.74 kg	96.32 kg
Aire	1.50	1.00%	0.0150					

Fuente: Elaboración propia.

4.3 DISEÑO (A1) – 1.20% de aditivo

El presente diseño se realizó tomando en cuenta un primer porcentaje de aditivo en peso de cemento de 1.20% añadido a los cuatro componentes iniciales del concreto (incluyendo las correcciones realizadas por absorción y contenido de humedad en las dosificaciones). Así mismo, el peso específico del aditivo se calculó en laboratorio, dando como resultado el valor de 1376.33 kg/m³, el cual ha sido usado para todos los diseños con aditivo. El diseño se calculó inicialmente para 1 m³, para luego determinar las proporciones para una tanda aproximada de 45 kg (0.020 m³).

4.3.1 Diseño (A1) con 1.20% de aditivo para la relación a/c=0.45

En Tabla N° IV.11 se muestran los cálculos del diseño realizado y llevado a laboratorio:

Tabla N° IV.11. Diseño de mezcla (A1), a/c = 0.45.

Diseño (A1) a/c = 0.45, para 0.020 m ³								
Material	Dosificación seca (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Ab. (m ³)	D.U.S	Dosificación Obra (kg)	D.U.O	Laboratorio (9 probetas de .10x.20)	Por Bolsa Cemento (42.5xD.U.O)
Cemento	616.0	3130	0.1968	1.00	616.0	1.00	12.32 kg	1.00 bl
Agua	277.0	1000	0.2770	0.45	257.2	0.42	5.14 lt	17.7 lt
Arena	667.7	2640	0.2529	1.08	695.5	1.13	13.91 kg	47.99 kg
Piedra	670.2	2650	0.2529	1.09	674.6	1.10	13.49 kg	46.54 kg
Aditivo 1	7.39	1376	0.0054	0.0120	7.39	0.0120	147.79 gr	510.00 gr
Aire	1.50	1.00%	0.0150					

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Diseño (A1) con 1.20% de aditivo para la relación a/c=0.55

En la Tabla N° IV.12 se muestran los cálculos del diseño realizado y llevado a laboratorio:

Tabla N° IV.12. Diseño de mezcla (A1), a/c = 0.55.

Diseño (A1) a/c = 0.55, para 0.020 m³								
Material	Dosificación seca (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Ab. (m ³)	D.U.S	Dosificación Obra (kg)	D.U.O	Laboratorio (9 probetas de .10x.20)	Por Bolsa Cemento (42.5xD.U.O)
Cemento	455.0	3130	0.1454	1.00	455.0	1.00	9.10 kg	1.00 bl
Agua	250.0	1000	0.2500	0.55	227.1	0.50	4.54 lt	21.21 lt
Arena	773.1	2640	0.2928	1.70	805.3	1.77	16.11 kg	75.22 kg
Piedra	776.0	2650	0.2928	1.71	781.1	1.72	15.63 kg	72.96 kg
Aditivo 1	5.46	1376	0.0040	0.0120	5.46	0.0120	109.25 gr	510.00 gr
Aire	1.50	1.00%	0.0150					

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Diseño (A1) con 1.20% de aditivo para la relación a/c=0.65

En la Tabla N° IV.13 se muestran los cálculos del diseño realizado y llevado a laboratorio:

Tabla N° IV.13. Diseño de mezcla (A1), a/c = 0.65.

Diseño (A1) a/c = 0.65, para 0.020 m³								
Material	Dosificación seca (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Ab. (m ³)	D.U.S	Dosificación Obra (kg)	D.U.O	Laboratorio (9 probetas de .10x.20)	Por Bolsa Cemento (42.5xD.U.O)
Cemento	354.0	3130	0.1131	1.00	354.0	1.00	7.08 kg	1.00 bl
Agua	230.0	1000	0.2300	0.65	205.0	0.58	4.10 lt	24.61 lt
Arena	843.2	2640	0.3194	2.38	878.4	2.48	17.58 kg	105.46 kg
Piedra	846.4	2650	0.3194	2.39	851.9	2.41	17.05 kg	102.28 kg
Aditivo 1	4.25	1376	0.0031	0.0120	4.25	0.0120	85.01 gr	510.00 gr
Aire	1.50	1.00%	0.0150					

Fuente: Elaboración propia.

4.4 DISEÑO (A2) – 2.4% de aditivo

El presente diseño se realizó tomando en cuenta un segundo porcentaje de aditivo en peso de cemento de 2.40% añadido a los cuatro componentes iniciales del concreto (cemento, agua, arena y piedra), así mismo, se realizaron las correcciones por absorción y contenido de humedad en las dosificaciones de los agregados y del agua. El diseño se calculó inicialmente para 1 m³, para luego determinar las proporciones para una tanda aproximada de 45 kg (0.020 m³).

4.4.1 Diseño (A2) con 2.40% de aditivo para la relación a/c=0.45

En la Tabla N° IV.14 se muestran los cálculos del diseño realizado y llevado a laboratorio:

Tabla N° IV.14. Diseño de mezcla (A2), a/c = 0.45.

Diseño (A2) a/c = 0.45, para 0.020 m³								
Material	Dosificación seca (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Ab. (m ³)	D.U.S	Dosificación Obra (kg)	D.U.O	Laboratorio (9 probetas de .10x.20)	Por Bolsa Cemento (42,5xD.U.O)
Cemento	544.0	3130	0.1738	1.00	544.0	1.00	10.86 kg	1.00 bl
Agua	245.0	1000	0.2450	0.45	223.2	0.41	4.46 lt	17.44 lt
Arena	734.9	2640	0.2784	1.35	765.5	1.41	15.29 kg	59.80 kg
Piedra	737.6	2650	0.2784	1.36	742.4	1.36	14.83 kg	58.00 kg
Aditivo 2	13.06	1376	0.0095	0.0240	13.06	0.0240	260.76 gr	1020.00 gr
Aire	1.50	1.00%	0.0150					

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Diseño (A2) con 2.40% de aditivo para la relación a/c=0.55

En la Tabla N° IV.15 se muestran los cálculos del diseño realizado y llevado a laboratorio:

Tabla N° IV.15. Diseño de mezcla (A2), a/c = 0.55

Diseño (A2) a/c = 0.55, para 0.020 m³								
Material	Dosificación seca (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Ab. (m ³)	D.U.S	Dosificación Obra (kg)	D.U.O	Laboratorio (9 probetas de .10x.20)	Por Bolsa Cemento (42,5xD.U.O)
Cemento	409.0	3130	0.1307	1.00	409.0	1.00	8.18 kg	1.00 bl
Agua	225.0	1000	0.2250	0.55	200.6	0.49	4.01 lt	20.85 lt
Arena	821.3	2640	0.3111	2.01	855.5	2.09	17.11 kg	88.90 kg
Piedra	824.4	2650	0.3111	2.02	829.8	2.03	16.60 kg	86.22 kg
Aditivo 2	9.82	1376	0.0071	0.0240	9.82	0.0240	196.34 gr	1020.00 gr
Aire	1.50	1.00%	0.0150					

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 Diseño (A2) con 2.40% de aditivo para la relación a/c=0.65

En la Tabla N° IV.16 se muestran los cálculos del diseño realizado y llevado a laboratorio:

Tabla N° IV.16. Diseño de mezcla (A2), a/c = 0.65

Diseño (A2) a/c = 0.65, para 0.020 m ³									
Material	Dosificación seca (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Ab. (m ³)	D.U.S	Dosificación Obra (kg)	D.U.O	Laboratorio (9 probetas de .10x.20)		Por Bolsa Cemento (42,5xD.U.O)
Cemento	315.0	3130	0.1006	1.00	315.0	1.00	6.03	kg	1.00 bl
Agua	205.0	1000	0.2050	0.65	178.6	0.57	3.57	lt	24.10 lt
Arena	889.5	2640	0.3369	2.82	926.6	2.94	18.52	kg	125.02 kg
Piedra	892.9	2650	0.3369	2.83	898.7	2.85	17.96	kg	121.25 kg
Aditivo 2	7.56	1376	0.0055	0.0240	7.56	0.0240	151.11	gr	1020.00 gr
Aire	1.50	1.00%	0.0150						

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, en la Figura N° IV.2 se muestra algunas probetas elaboradas en el laboratorio debidamente etiquetadas para que puedan ser ensayadas a los respectivos días establecidos.

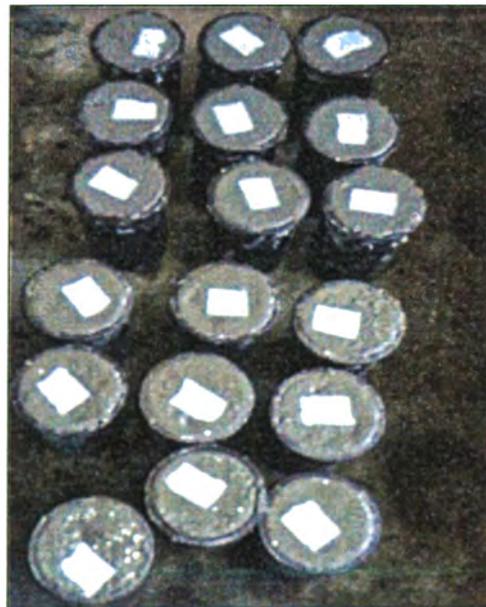


Figura N° IV.2. Muestras de probetas de 0.10x0.20 m.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V : RESULTADOS OBTENIDOS

En este capítulo se muestran todos los resultados obtenidos del concreto en estado fresco y endurecido.

5.1 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

5.1.1 Resultado del ensayo de Asentamiento (Slump)

De acuerdo a los diseños de mezcla descritos en el Capítulo III, se procedió a realizar los diseños en el laboratorio y se calculó del asentamiento para cada tipo de relación agua/cemento siguiendo las indicaciones de la NTP 339.035. En la Tabla N° V.1 se presenta los resultados finales obtenidos:

Tabla N° V.1. Ensayo de Asentamiento (Slump).

Relación a/c	Diseño de Mezcla	Asentamiento (pulg)
0.45	Diseño (A0)	3 1/4
	Diseño (A1)	3 1/2
	Diseño (A2)	3 1/4
0.55	Diseño (A0)	4
	Diseño (A1)	4
	Diseño (A2)	3 3/4
0.65	Diseño (A0)	4 1/4
	Diseño (A1)	4 1/2
	Diseño (A2)	4

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, en la Figura N° V.1 se visualiza la forma de medición del asentamiento desde la parte central superior de la mezcla de concreto hasta la superficie de la varilla de un determinado diseño.



Figura N° V.1. Ensayo de Asentamiento (slump).

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Resultado del ensayo de Peso Unitario

De acuerdo a los diseños de mezcla descritos en el Capítulo III, se calcularon todos los pesos unitarios para cada tipo de relación agua/cemento y de las indicaciones de la NTP 339.046. En la Tabla N° V.2 se presenta los resultados obtenidos:

Tabla N° V.2. Ensayo de Peso Unitario.

Relación a/c	Diseño de mezcla	Peso Recipiente (kg)	Peso Concreto + Recipiente (kg)	Peso Concreto (kg)	Volumen Recipiente (m ³)	P.U. (kg/m ³)
0.45	Diseño (A0)	5.00	27.23	22.23	0.0094	2364.89
	Diseño (A1)	5.00	27.36	22.36	0.0094	2378.72
	Diseño (A2)	5.00	27.28	22.28	0.0094	2370.21
0.55	Diseño (A0)	5.00	26.94	21.94	0.0094	2334.04
	Diseño (A1)	5.00	27.04	22.04	0.0094	2344.68
	Diseño (A2)	5.00	27.09	22.09	0.0094	2350.00
0.65	Diseño (A0)	5.00	26.75	21.75	0.0094	2313.83
	Diseño (A1)	5.00	26.71	21.71	0.0094	2309.57
	Diseño (A2)	5.00	26.90	21.90	0.0094	2329.79

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, en la Figura N° V.2 se visualiza la medición realizada a una muestra de concreto para determinar su peso unitario.

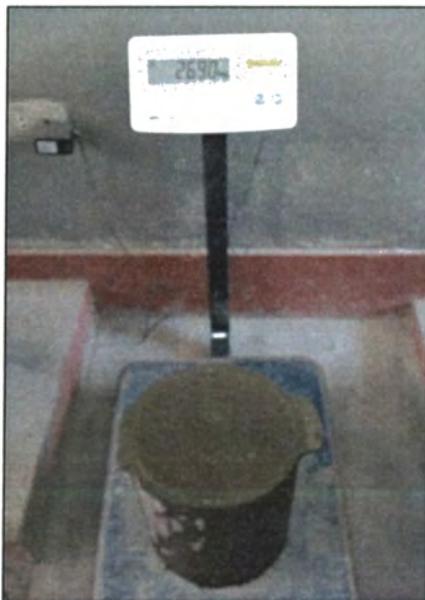


Figura N° V.2. Ensayo de Peso unitario.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Ensayo de Contenido de Aire

En base a los diseños realizados en el Capítulo III se procedió a realizar el ensayo de contenido de aire mediante el equipo de la Olla de Washington siguiendo las indicaciones de la NTP 339.080. En la Tabla N° V.3 se presenta los resultados obtenidos:

Tabla N° V.3. Ensayo Contenido de Aire obtenido.

Relación a/c	Diseño de mezcla	% Contenido de aire
0.45	Diseño (A0)	2.50%
	Diseño (A1)	2.30%
	Diseño (A2)	2.30%
0.55	Diseño (A0)	2.70%
	Diseño (A1)	2.70%
	Diseño (A2)	2.50%
0.65	Diseño (A0)	3.10%
	Diseño (A1)	2.80%
	Diseño (A2)	2.50%

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, en la Figura N° V.3 se visualiza la medición realizada a una muestra de concreto para determinar el contenido de aire.



Figura N° V.3. Ensayo Contenido de Aire, equipo Washington.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4 Resultado del ensayo de Exudación

De acuerdo a los diseños de mezcla descritos en el Capítulo III, se realizaron todos los ensayos de exudación siguiendo las recomendaciones indicadas en la NTP339.082. A continuación, se muestran los resultados obtenidos para tipo de relación a/c.

5.1.4.1 Exudación para la relación a/c = 0.45

a) Para el diseño (A0)

En la Tabla N° V.4 se presenta los resultados obtenidos del ensayo para el diseño (A0):

Tabla N° V.4. Ensayo de exudación del diseño (A0), a/c = 0.45.

N°	Tiempo real (hora)	TIEMPO PARCIAL (min)	TIEMPO ABSOLUTO (hora)	TIEMPO ABSOLUTO ACUMULADO (min)	VOLUMEN PARCIAL (ml)	VOLUMEN ACUMULADO (ml)
1	08:50	00:00	00:00	0.00	0	0
2	09:00	00:10	00:10	10.00	1.00	1.00
3	09:10	00:10	00:20	10.00	1.00	2.00

4	09:20	00:10	00:30	10.00	1.50	3.50
5	09:30	00:10	00:40	10.00	1.50	5.00
6	10:00	00:30	01:10	30.00	3.50	8.50
7	10:30	00:30	01:40	30.00	2.00	10.50
8	11:00	00:30	02:10	30.00	1.00	11.50
9	11:30	00:30	02:40	30.00	0.70	12.20

Fuente: Elaboración propia.

b) Para el diseño (A1)

En la Tabla N° V.5 se presenta los resultados obtenidos del ensayo para el diseño (A1):

Tabla N° V.5. Ensayo de exudación del diseño (A1), a/c = 0.45.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Volumen parcial (ml)	Volumen acumulado (ml)
1	10:42	00:00	00:00	0.00	0	0
2	10:52	00:10	02:02	10.00	0.50	0.50
3	11:02	00:10	02:12	10.00	0.50	1.00
4	11:12	00:10	02:22	10.00	1.00	2.00
5	11:22	00:10	02:32	10.00	1.00	3.00
6	11:52	00:30	03:02	30.00	3.00	6.00
7	12:22	00:30	03:32	30.00	1.50	7.50
8	12:52	00:30	04:02	30.00	1.00	8.50
9	13:22	00:30	04:32	30.00	0.50	9.00

Fuente: Elaboración propia.

c) Para el diseño (A2)

En la Tabla N° V.6 se presenta los resultados obtenidos del ensayo para el diseño (A2):

Tabla N° V.6. Ensayo de exudación del diseño (A2), a/c = 0.45.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Volumen parcial (ml)	Volumen acumulado (ml)
1	08:46	00:00	00:00	0.00	0	0
2	08:56	00:10	00:06	10.00	0.50	0.50
3	09:06	00:10	00:16	10.00	0.50	1.00
4	09:16	00:10	00:26	10.00	1.00	2.00
5	09:26	00:10	00:36	10.00	1.00	3.00

6	09:56	00:30	01:06	30.00	2.50	5.50
7	10:26	00:30	01:36	30.00	1.00	6.50
8	10:56	00:30	02:06	30.00	0.50	7.00
9	11:26	00:30	02:36	30.00	0.30	7.30

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4.2 Exudación para la relación $a/c = 0.55$

a) Para el diseño (A0)

En la Tabla N° V.7 se presenta los resultados obtenidos del ensayo para el diseño (A0):

Tabla N° V.7. Ensayo de exudación del diseño (A0), $a/c = 0.55$.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Volumen parcial (ml)	Volumen acumulado (ml)
1	08:40	00:00	00:00	0.00	0	0
2	08:50	00:10	00:10	10.00	1.00	1.00
3	09:00	00:10	00:20	10.00	1.50	2.50
4	09:10	00:10	00:30	10.00	1.50	4.00
5	09:20	00:10	00:40	10.00	2.00	6.00
6	09:50	00:30	01:10	30.00	4.50	10.50
7	10:20	00:30	01:40	30.00	2.50	13.00
8	10:50	00:30	02:10	30.00	1.50	14.50
9	11:20	00:30	02:40	30.00	0.70	15.20

Fuente: Elaboración propia.

b) Para el diseño (A1)

En la Tabla N° V.8 se presenta los resultados obtenidos del ensayo para el diseño (A1):

Tabla N° V.8. Ensayo de exudación del diseño (A1), $a/c = 0.55$.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Volumen parcial (ml)	Volumen acumulado (ml)
1	10:42	00:00	00:00	0.00	0	0
2	10:52	00:10	02:12	10.00	1.00	1.00
3	11:02	00:10	02:22	10.00	1.00	2.00
4	11:12	00:10	02:32	10.00	1.50	3.50
5	11:22	00:10	02:42	10.00	2.00	5.50
6	11:52	00:30	03:12	30.00	3.50	9.00

7	12:22	00:30	03:42	30.00	2.00	11.00
8	12:52	00:30	04:12	30.00	1.00	12.00
9	13:22	00:30	04:42	30.00	0.50	12.50

Fuente: Elaboración propia.

c) Para el diseño (A2)

En la Tabla N° V.9 se presenta los resultados obtenidos del ensayo para el diseño (A2):

Tabla N° V.9. Ensayo de exudación del diseño (A2), $a/c = 0.55$.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Volumen parcial (ml)	Volumen acumulado (ml)
1	09:02	00:00	00:00	0.00	0	0
2	09:12	00:10	00:32	10.00	0.50	0.50
3	09:22	00:10	00:42	10.00	1.00	1.50
4	09:32	00:10	00:52	10.00	1.00	2.50
5	09:42	00:10	01:02	10.00	1.50	4.00
6	10:12	00:30	01:32	30.00	3.00	7.00
7	10:42	00:30	02:02	30.00	1.50	8.50
8	11:12	00:30	02:32	30.00	1.00	9.50
9	11:42	00:30	03:02	30.00	0.50	10.00

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4.3 Exudación para la relación $a/c = 0.65$

a) Para el diseño (A0)

En la Tabla N° V.10 se presenta los resultados obtenidos del ensayo para el diseño (A0):

Tabla N° V.10. Ensayo de exudación del diseño (A0), $a/c = 0.65$.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Volumen parcial (ml)	Volumen acumulado (ml)
1	08:40	00:00	00:00	0.00	0	0
2	08:50	00:10	00:10	10.00	1.00	1.00
3	09:00	00:10	00:20	10.00	1.50	2.50
4	09:10	00:10	00:30	10.00	2.00	4.50
5	09:20	00:10	00:40	10.00	2.50	7.00
6	09:50	00:30	01:10	30.00	5.50	12.50

7	10:20	00:30	01:40	30.00	3.00	15.50
8	10:50	00:30	02:10	30.00	2.00	17.50
9	11:20	00:30	02:40	30.00	1.00	18.50
10	11:50	00:30	03:10	30.00	0.30	18.80

Fuente: Elaboración propia.

b) Para el diseño (A1)

En la Tabla N° V.11 se presenta los resultados obtenidos del ensayo para el diseño (A1):

Tabla N° V.11. Ensayo de exudación del diseño (A1), $a/c = 0.65$.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Volumen parcial (ml)	Volumen acumulado (ml)
1	10:12	00:00	00:00	0.00	0	0
2	10:22	00:10	01:42	10.00	1.00	1.00
3	10:32	00:10	01:52	10.00	1.50	2.50
4	10:42	00:10	02:02	10.00	2.00	4.50
5	10:52	00:10	02:12	10.00	2.00	6.50
6	11:22	00:30	02:42	30.00	4.50	11.00
7	11:52	00:30	03:12	30.00	2.50	13.50
8	12:22	00:30	03:42	30.00	1.50	15.00
9	12:52	00:30	04:12	30.00	0.50	15.50

Fuente: Elaboración propia.

c) Para el diseño (A2)

En la Tabla N° V.12 se presenta los resultados obtenidos del ensayo para el diseño (A2):

Tabla N° V.12. Ensayo de exudación del diseño (A2), $a/c = 0.65$.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo parcial (min)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Volumen parcial (ml)	Volumen acumulado (ml)
1	09:02	00:00	00:00	0.00	0	0
2	09:12	00:10	00:32	10.00	1.00	1.00
3	09:22	00:10	00:42	10.00	1.00	2.00
4	09:32	00:10	00:52	10.00	1.00	3.00
5	09:42	00:10	01:02	10.00	2.00	5.00
6	10:12	00:30	01:32	30.00	3.50	8.50

7	10:42	00:30	02:02	30.00	2.00	10.50
8	11:12	00:30	02:32	30.00	1.00	11.50
9	12:42	01:30	04:02	90.00	0.30	11.80

Fuente: Elaboración propia.

5.1.5 Resultado del ensayo de Tiempo de Fragua

De acuerdo a los diseños de mezcla descritos en el Capítulo III, se realizaron todos los ensayos de tiempo de fragua para cada relación agua/cemento de acuerdo a la NTP 339.082.

5.1.5.1 Tiempo de Fragua para la relación a/c = 0.45

a) Para el diseño (A0)

Antes de realizar este ensayo, se anotó la siguiente información:

- ✓ Temperatura ambiente: 27 C°
- ✓ Tiempo de contacto cemento - agua en la mezcladora: 08:20

Para realizar la medición se tuvo que iniciar lo más temprano posible debido a la duración del ensayo. En la Tabla N° V.13 se presenta los resultados obtenidos:

Tabla N° V.13. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A0), a/c = 0.45.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Fuerza (lb)	Área aguja (pulg ²)	Resistencia a la penetración (lb/pul ²)
1	08:20	00:00	0.00	0	0	0
2	10:25	02:05	125.00	80	1	80
3	11:35	03:15	195.00	180	1	180
4	12:15	03:55	235.00	110	1/4	440
5	12:45	04:25	265.00	90	1/10	900
6	13:15	04:55	295.00	150	1/10	1500
7	13:40	05:20	320.00	146	1/20	2920
8	14:00	05:40	340.00	134	1/40	5360
9	14:15	05:55	355.00	178	1/40	7120

Fuente: Elaboración propia.

b) Para el diseño (A1)

Antes de realizar este ensayo, se anotó la siguiente información:

- ✓ Temperatura ambiente: 27 C°
- ✓ Tiempo de contacto cemento - agua en la mezcladora: 10:20

Para realizar la medición, se tuvo que iniciar lo más temprano posible debido a la duración del ensayo. En la Tabla N° V.14 se presenta los resultados obtenidos:

Tabla N° V.14. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A1), a/c = 0.45.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Fuerza (lb)	Área aguja (pulg ²)	Resistencia a la penetración (lb/pul ²)
1	10:20	00:00	0.00	0	0	0
2	12:10	01:50	110.00	110	1	110
3	13:10	02:50	170.00	130	1/2	260
4	13:50	03:30	210.00	134	1/4	536
5	14:23	04:03	243.00	100	1/10	1000
6	14:46	04:26	266.00	166	1/10	1660
7	15:09	04:49	289.00	160	1/20	3200
8	15:29	05:09	309.00	130	1/40	5200
9	15:43	05:23	323.00	174	1/40	6960

Fuente: Elaboración propia.

c) Para el diseño (A2)

Antes de realizar este ensayo, se anotó la siguiente información:

- ✓ Temperatura ambiente: 27 C°
- ✓ Tiempo de contacto cemento - agua en la mezcladora: 08:25

Para realizar la medición, se tuvo que iniciar lo más temprano posible debido a la duración del ensayo. En la Tabla N° V.15 se presenta los resultados obtenidos:

Tabla N° V.15. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A2), a/c = 0.45.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Fuerza (lb)	Área aguja (pulg ²)	Resistencia a la penetración (lb/pul ²)
1	08:25	00:00	0.00	0	0	0
2	10:15	01:50	110.00	170	1	170
3	11:10	02:45	165.00	190	1/2	380
4	11:50	03:25	205.00	196	1/4	784
5	12:20	03:55	235.00	140	1/10	1400
6	12:45	04:20	260.00	120	1/20	2400
7	13:05	04:40	280.00	200	1/20	4000
8	13:20	04:55	295.00	150	1/40	6000
9	13:32	05:07	307.00	200	1/40	8000

Fuente: Elaboración propia.

5.1.5.2 Tiempo de Fragua para la relación $a/c = 0.55$

a) Para el diseño (A0)

Antes de realizar este ensayo, se anotó la siguiente información:

- ✓ Temperatura ambiente: 27 C°
- ✓ Tiempo de contacto cemento - agua en la mezcladora: 08:25

Para realizar la medición, se tuvo que iniciar lo más temprano posible debido a la duración del ensayo. En la Tabla N° V.16 se presenta los resultados obtenidos:

Tabla N° V.16. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A0), $a/c = 0.55$.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Fuerza (lb)	Área aguja (pulg ²)	Resistencia a la penetración (lb/pul ²)
1	08:25	00:00	0.00	0	0	0
2	10:55	02:30	150.00	110	1	110
3	12:15	03:50	230.00	120	1/2	240
4	13:15	04:50	290.00	150	1/4	600
5	13:45	05:20	320.00	110	1/10	1100
6	14:15	05:50	350.00	108	1/20	2160
7	14:35	06:10	370.00	174	1/20	3480
8	14:55	06:30	390.00	140	1/40	5600
9	15:10	06:45	405.00	180	1/40	7200

Fuente: Elaboración propia.

b) Para el diseño (A1)

Antes de realizar este ensayo, se anotó la siguiente información:

- ✓ Temperatura ambiente: 27 C°
- ✓ Tiempo de contacto cemento - agua en la mezcladora: 10:17

Para realizar la medición, se tuvo que iniciar lo más temprano posible debido a la duración del ensayo. En la Tabla N° V.17 se presenta los resultados obtenidos:

Tabla N° V.17. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A1), $a/c = 0.55$.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Fuerza (lb)	Área aguja (pulg ²)	Resistencia a la penetración (lb/pul ²)
1	10:17	00:00	0.00	0	0	0
2	12:30	02:13	133.00	80	1	80
3	13:40	03:23	203.00	120	1/2	240

4	14:30	04:13	253.00	142	1/4	568
5	15:05	04:48	288.00	120	1/10	1200
6	15:35	05:18	318.00	110	1/20	2200
7	15:55	05:38	338.00	170	1/20	3400
8	16:10	05:53	353.00	124	1/40	4960
9	16:25	06:08	368.00	158	1/40	6320
10	16:35	06:18	378.00	188	1/40	7520

Fuente: Elaboración propia.

c) Para el diseño (A2)

Antes de realizar este ensayo, se anotó la siguiente información:

- ✓ Temperatura ambiente: 27 C°
- ✓ Tiempo de contacto cemento - agua en la mezcladora: 08:40

Para realizar la medición, se tuvo que iniciar lo más temprano posible debido a la duración del ensayo. En la Tabla N° V.18 se presenta los resultados obtenidos:

Tabla N° V.18. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A2), $a/c = 0.55$.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Fuerza (lb)	Área aguja (pulg ²)	Resistencia a la penetración (lb/pul ²)
1	08:40	00:00	0.00	0	0	0
2	10:30	01:50	110.00	40	1	40
3	11:30	02:50	170.00	110	1/2	220
4	12:15	03:35	215.00	190	1/2	380
5	12:55	04:15	255.00	184	1/4	736
6	13:25	04:45	285.00	160	1/10	1600
7	13:55	05:15	315.00	158	1/20	3160
8	14:15	05:35	335.00	140	1/40	5600
9	14:30	05:50	350.00	190	1/40	7600

Fuente: Elaboración propia.

5.1.5.3 Tiempo de Fragua para la relación $a/c = 0.65$

a) Para el diseño (A0)

Antes de realizar este ensayo, se anotó la siguiente información:

- ✓ Temperatura ambiente: 27 C°
- ✓ Tiempo de contacto cemento - agua en la mezcladora: 08:01

Para realizar la medición, se tuvo que iniciar lo más temprano posible debido a la duración del ensayo. En la Tabla N° V.19 se presenta los resultados obtenidos:

Tabla N° V.19. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A0), $a/c = 0.65$.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Fuerza (lb)	Área aguja (pulg ²)	Resistencia a la penetración (lb/pul ²)
1	08:01	00:00	0.00	0	0	0
2	10:40	02:39	159.00	110	1	110
3	12:20	04:19	259.00	190	1	190
4	13:20	05:19	319.00	190	1/2	380
5	14:00	05:59	359.00	186	1/4	744
6	14:30	06:29	389.00	174	1/10	1740
7	15:00	06:59	419.00	190	1/20	3800
8	15:20	07:19	439.00	150	1/40	6000
9	15:31	07:30	450.00	190	1/40	7600

Fuente: Elaboración propia.

b) Para el diseño (A1)

Antes de realizar este ensayo, se anotó la siguiente información:

- ✓ Temperatura ambiente: 27 C°
- ✓ Tiempo de contacto cemento - agua en la mezcladora: 09:33

Para realizar la medición, se tuvo que iniciar lo más temprano posible debido a la duración del ensayo. En la Tabla N° V.20 se presenta los resultados obtenidos:

Tabla N° V.20. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A1), $a/c = 0.65$.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Fuerza (lb)	Área aguja (pulg ²)	Resistencia a la penetración (lb/pul ²)
1	09:33	00:00	0.00	0	0	0
2	11:50	02:17	137.00	120	1	120
3	13:20	03:47	227.00	150	1/2	300
4	14:10	04:37	277.00	140	1/4	560
5	14:50	05:17	317.00	100	1/10	1000
6	15:20	05:47	347.00	100	1/20	2000
7	15:50	06:17	377.00	170	1/20	3400
8	16:10	06:37	397.00	130	1/40	5200
9	16:24	06:51	411.00	170	1/40	6800
10	16:31	06:58	418.00	194	1/40	7760

Fuente: Elaboración propia.

c) Para el diseño (A2)

Antes de realizar este ensayo, se anotó la siguiente información:

- ✓ Temperatura ambiente: 27 C°
- ✓ Tiempo de contacto cemento - agua en la mezcladora: 07:48

Para realizar la medición, se tuvo que iniciar lo más temprano posible debido a la duración del ensayo. En la Tabla N° V.21 se presenta los resultados obtenidos:

Tabla N° V.21. Ensayo Tiempo de Fragua del diseño (A2), a/c = 0.65.

N°	Tiempo real (hora)	Tiempo absoluto (hora)	Tiempo absoluto acumulado (min)	Fuerza (lb)	Área aguja (pulg ²)	Resistencia a la penetración (lb/pul ²)
1	07:48	00:00	0.00	0	0	0
2	10:13	02:25	145.00	100	1	100
3	11:33	03:45	225.00	150	1/2	300
4	12:23	04:35	275.00	180	1/4	720
5	12:55	05:07	307.00	130	1/10	1300
6	13:22	05:34	334.00	120	1/20	2400
7	13:45	05:57	357.00	192	1/20	3840
8	14:03	06:15	375.00	140	1/40	5600
9	14:16	06:28	388.00	190	1/40	7600

Fuente: Elaboración propia.

5.2 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

5.2.1 Ensayo de compresión

Para la realización del ensayo de compresión, se planteó el siguiente procedimiento:

5.2.1.1 Codificación de probetas

De aquí en adelante es lo mismo llamar diseño patrón o concreto patrón (A0) al diseño sin considerar aditivo. Así mismo, las probetas ensayadas tuvieron que ser codificadas para un mejor control. A continuación se presenta la Tabla N° V.22 indicando la simbología considerada:

Tabla N° V.22. Simbología del diseño de mezcla.

Diseño	Descripción
A0	Diseño de mezcla del concreto patrón (concreto sin aditivo).

A1	Diseño de mezcla con el primer porcentaje de aditivo (1.20% en peso del cemento).
A2	Diseño de mezcla con el segundo porcentaje de aditivo (2.40 % en peso del cemento).

Fuente: Elaboración propia.

Codificación:

Diseño - Relación a/c - Número de probeta

Ejemplo:

A0 - 0.55 - 7

Donde:

A0 - 0.55 - 7: Probeta número 7 del concreto patrón (A0) perteneciente a la relación a/c=0.55.

5.2.1.2 Resultados Compresión de probetas

Una vez codificadas los testigos, se procedió a realizar propiamente dicho el ensayo de roturas de probetas. Las siguientes tablas indican el resultado obtenido:

a) Resultados del concreto patrón (A0).

Tabla N° V.23. Rotura de probetas (A0), a/c=0.45.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)		Altura H (cm)		Fuerza (kg-f)
		Medición	Promedio	Medición	Promedio	
A los 3 días	A0 - 0.45 - 1	10.125	10.113	20.605	20.710	18,230.70
		10.100		20.815		
	A0 - 0.45 - 2	10.235	10.215	20.855	20.790	
		10.195		20.725		
	A0 - 0.45 - 3	10.215	10.173	20.670	20.680	
		10.130		20.690		
A los 7 días	A0 - 0.45 - 4	9.970	9.995	20.800	20.750	20,984.50
		10.020		20.700		
	A0 - 0.45 - 5	10.030	9.990	20.800	20.750	
		9.950		20.700		
	A0 - 0.45 - 6	9.980	9.985	20.850	20.825	
		9.990		20.800		

A los 28 días	A0 - 0.45 - 7	10.075	10.088	20.500	20.650	31,234.80
		10.100		20.800		
	A0 - 0.45 - 8	10.090	10.095	20.600	20.700	31,308.70
		10.100		20.800		
	A0 - 0.45 - 9	10.090	10.078	20.500	20.600	31,796.70
		10.065		20.700		
	A0 - 0.45 - 10	10.070	10.080	20.650	20.725	30,594.80
		10.090		20.800		
	A0 - 0.45 - 11	10.150	10.160	20.550	20.650	32,009.58
		10.170		20.750		
	A0 - 0.45 - 12	10.200	10.155	20.600	20.650	32,596.82
		10.110		20.700		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° V.24. Rotura de probetas (A0), a/c=0.55.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)		Altura H (cm)		Fuerza (kg-f)
		Medición	Promedio	Medición	Promedio	
A los 3 días	A0 - 0.55 - 1	10.020	10.013	20.780	20.790	14,641.10
		10.005		20.800		
	A0 - 0.55 - 2	10.030	10.033	20.800	20.800	14,397.60
		10.035		20.800		
	A0 - 0.55 - 3	9.965	9.978	20.600	20.500	15,344.90
		9.990		20.400		
A los 7 días	A0 - 0.55 - 4	10.085	10.050	20.700	20.750	17,616.30
		10.015		20.800		
	A0 - 0.55 - 5	10.060	10.068	20.700	20.750	17,409.00
		10.075		20.800		
	A0 - 0.55 - 6	10.095	10.088	20.700	20.650	16,797.60
		10.080		20.600		
A los 28 días	A0 - 0.55 - 7	10.070	10.090	20.600	20.650	22,896.50
		10.110		20.700		
	A0 - 0.55 - 8	10.090	10.093	20.700	20.750	24,742.00
		10.095		20.800		
	A0 - 0.55 - 9	10.050	10.065	20.400	20.500	23,613.30
		10.080		20.600		
	A0 - 0.55 - 10	10.080	10.085	20.700	20.700	23,696.00
		10.090		20.700		
	A0 - 0.55 - 11	10.100	10.090	20.800	20.725	24,574.90
		10.080		20.650		
	A0 - 0.55 - 12	10.105	10.100	20.550	20.650	23,188.20
		10.095		20.750		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Nº V.25. Rotura de probetas (A0), a/c=0.65.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)		Altura H (cm)		Fuerza (kg-f)
		Medición	Promedio	Medición	Promedio	
A los 3 días	A0 - 0.65 - 1	10.210	10.185	20.760	20.700	11,173.20
		10.160		20.640		
	A0 - 0.65 - 2	10.180	10.175	20.825	20.748	
		10.170		20.670		
	A0 - 0.65 - 3	10.145	10.150	20.700	20.675	
		10.155		20.650		
A los 7 días	A0 - 0.65 - 4	9.950	9.988	20.800	20.750	13,644.60
		10.025		20.700		
	A0 - 0.65 - 5	10.010	10.015	20.600	20.600	
		10.020		20.600		
	A0 - 0.65 - 6	9.980	9.985	20.750	20.725	
		9.990		20.700		
A los 28 días	A0 - 0.65 - 7	10.080	10.078	20.400	20.500	17,650.20
		10.075		20.600		
	A0 - 0.65 - 8	10.110	10.100	20.900	20.500	
		10.090		20.100		
	A0 - 0.65 - 9	10.050	10.090	20.700	20.700	
		10.130		20.700		
	A0 - 0.65 - 10	10.020	10.135	20.450	20.550	
		10.250		20.650		
	A0 - 0.65 - 11	10.220	10.145	20.850	20.675	
		10.070		20.500		
	A0 - 0.65 - 12	10.180	10.130	20.600	20.525	
		10.080		20.450		

Fuente: Elaboración propia.

b) Resultados del concreto con aditivo (A1).

Tabla Nº V.26. Rotura de probetas (A1), a/c=0.45.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)		Altura H (cm)		Fuerza (kg-f)
		Medición	Promedio	Medición	Promedio	
A los 3 días	A1 - 0.45 - 1	10.150	10.113	20.595	20.593	19,077.00
		10.075		20.590		
	A1 - 0.45 - 2	10.170	10.145	20.585	20.580	
		10.120		20.575		
	A1 - 0.45 - 3	10.080	10.130	20.590	20.568	
		10.180		20.545		

A los 7 días	A1 - 0.45 - 4	9.950	9.958	20.500	20.475	23,689.00
		9.965		20.450		
	A1 - 0.45 - 5	9.980	9.995	20.700	20.675	22,321.20
		10.010		20.650		
	A1 - 0.45 - 6	9.980	9.965	20.500	20.450	22,572.80
		9.950		20.400		
A los 28 días	A1 - 0.45 - 7	10.110	10.065	20.500	20.500	30,775.90
		10.020		20.500		
	A1 - 0.45 - 8	10.070	10.095	20.800	20.750	30,018.60
		10.120		20.900		
	A1 - 0.45 - 9	10.060	10.070	20.800	20.800	29,335.30
		10.080		20.800		
	A1 - 0.45 - 10	10.100	10.090	20.600	20.625	30,484.50
		10.080		20.650		
	A1 - 0.45 - 11	10.150	10.105	20.650	20.700	29,901.90
		10.060		20.750		
	A1 - 0.45 - 12	10.090	10.065	20.800	20.775	29,704.30
		10.040		20.750		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° V.27. Rotura de probetas (A1), a/c=0.55.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)		Altura H (cm)		Fuerza (kg-f)
		Medición	Promedio	Medición	Promedio	
a los 3 días	A1 - 0.55 - 1	10.010	9.995	20.550	20.525	15,763.20
		9.980		20.500		
	A1 - 0.55 - 2	9.920	9.965	20.500	20.550	14,790.00
		10.010		20.600		
	A1 - 0.55 - 3	10.025	10.028	20.600	20.550	15,766.00
		10.030		20.500		
a los 7 días	A1 - 0.55 - 4	10.070	10.080	20.700	20.650	17,584.70
		10.090		20.600		
	A1 - 0.55 - 5	10.100	10.075	20.650	20.600	18,789.50
		10.050		20.550		
	A1 - 0.55 - 6	10.050	10.055	20.600	20.600	17,553.10
		10.060		20.600		
A los 28 días	A1 - 0.55 - 7	10.100	10.093	20.500	20.450	22,178.30
		10.085		20.400		
	A1 - 0.55 - 8	10.050	10.065	20.400	20.550	23,550.50
		10.080		20.700		
	A1 - 0.55 - 9	10.025	10.035	20.600	20.550	22,816.00
		10.045		20.500		

A1 - 0.55 - 10	10.050	10.100	20.450	20.550	22,849.70
	10.150		20.650		
A1 - 0.55 - 11	10.250	10.200	20.600	20.650	22,791.20
	10.150		20.700		
A1 - 0.55 - 12	10.085	10.118	20.550	20.525	24,188.40
	10.150		20.500		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° V.28. Rotura de probetas (A1), a/c=0.65.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)		Altura H (cm)		Fuerza (kg-f)
		Medición	Promedio	Medición	Promedio	
a los 3 días	A1 - 0.65 - 1	10.020	9.960	20.650	20.725	11,428.20
		9.900		20.800		
	A1 - 0.65 - 2	10.060	10.045	20.700	20.650	11,566.50
		10.030		20.600		
	A1 - 0.65 - 3	10.005	10.028	20.600	20.550	11,723.00
		10.050		20.500		
a los 7 días	A1 - 0.65 - 4	10.065	10.068	20.950	20.825	14,346.20
		10.070		20.700		
	A1 - 0.65 - 5	10.095	10.088	20.900	20.950	13,811.20
		10.080		21.000		
	A1 - 0.65 - 6	10.090	10.083	20.700	20.850	14,332.40
		10.075		21.000		
A los 28 días	A1 - 0.65 - 7	10.025	10.050	20.900	20.950	16,679.60
		10.075		21.000		
	A1 - 0.65 - 8	10.075	10.070	20.700	20.800	16,339.70
		10.065		20.900		
	A1 - 0.65 - 9	10.060	10.068	20.700	20.700	17,173.20
		10.075		20.700		
	A1 - 0.65 - 10	10.010	10.030	20.850	20.750	16,506.90
		10.050		20.650		
	A1 - 0.65 - 11	10.050	10.043	20.800	20.650	16,635.20
		10.035		20.500		
	A1 - 0.65 - 12	10.055	10.045	20.450	20.500	17,246.00
		10.035		20.550		

Fuente: Elaboración propia.

c) Resultados del concreto con aditivo (A2).

Tabla N° V.29. Rotura de probetas (A2), a/c=0.45.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)		Altura H (cm)		Fuerza (kg-f)
		Medición	Promedio	Medición	Promedio	
a los 3 días	A2 - 0.45 - 1	10.050	10.045	20.900	20.850	19,702.80
		10.040		20.800		
	A2 - 0.45 - 2	10.045	10.050	20.800	20.800	
		10.055		20.800		
	A2 - 0.45 - 3	10.065	10.038	21.000	20.900	
		10.010		20.800		
a los 7 días	A2 - 0.45 - 4	10.050	10.058	20.800	20.750	22,718.70
		10.065		20.700		
	A2 - 0.45 - 5	10.070	10.060	21.000	20.900	
		10.050		20.800		
	A2 - 0.45 - 6	10.070	10.055	20.900	20.850	
		10.040		20.800		
A los 28 días	A2 - 0.45 - 7	10.050	10.045	20.800	20.750	26,443.40
		10.040		20.700		
	A2 - 0.45 - 8	10.050	10.045	20.750	20.800	
		10.040		20.850		
	A2 - 0.45 - 9	9.980	9.985	20.800	20.750	
		9.990		20.700		
	A2 - 0.45 - 10	10.050	10.035	20.450	20.500	
		10.020		20.550		
	A2 - 0.45 - 11	10.030	10.080	20.650	20.725	
		10.130		20.800		
	A2 - 0.45 - 12	10.000	10.075	20.450	20.425	
		10.150		20.400		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° V.30. Rotura de probetas (A2), a/c=0.55.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)		Altura H (cm)		Fuerza (kg-f)
		Medición	Promedio	Medición	Promedio	
a los 3 días	A2 - 0.55 - 1	10.070	10.073	20.750	20.775	16,278.70
		10.075		20.800		
	A2 - 0.55 - 2	10.070	10.060	20.900	20.850	
		10.050		20.800		
	A2 - 0.55 - 3	10.065	10.058	20.800	20.750	
		10.050		20.700		
a los 7 días	A2 - 0.55 - 4	10.080	10.075	20.700	20.700	18,368.80
		10.070		20.700		
	A2 - 0.55 - 5	10.070	10.065	20.600	20.700	
		10.060		20.800		
	A2 - 0.55 - 6	10.050	10.053	20.700	20.800	
		10.055		20.900		

A los 28 días	A2 - 0.55 - 7	9.990	9.995	20.800	20.825	20,909.00
		10.000		20.850		
	A2 - 0.55 - 8	10.000	9.995	20.900	20.850	19,894.90
		9.990		20.800		
	A2 - 0.55 - 9	9.990	9.990	20.900	20.800	20,321.20
		9.990		20.700		
	A2 - 0.55 - 10	10.050	10.075	20.650	20.700	21,095.20
		10.100		20.750		
	A2 - 0.55 - 11	10.150	10.100	20.800	20.750	20,553.00
		10.050		20.700		
	A2 - 0.55 - 12	10.000	10.075	20.900	20.825	20,584.00
		10.150		20.750		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° V.31. Rotura de probetas (A2), a/c=0.65.

Fecha Rotura	Código	Diámetro D (cm)		Altura H (cm)		Fuerza (kg-f)
		Medición	Promedio	Medición	Promedio	
a los 3 días	A2 - 0.65 - 1	10.040	10.053	20.900	20.850	12,752.30
		10.065		20.800		
	A2 - 0.65 - 2	10.040	10.043	20.850	20.875	12,593.60
		10.045		20.900		
	A2 - 0.65 - 3	10.040	10.045	20.900	20.850	12,446.90
		10.050		20.800		
a los 7 días	A2 - 0.65 - 4	10.090	10.093	20.750	20.700	14,208.30
		10.095		20.650		
	A2 - 0.65 - 5	10.055	10.073	20.900	20.900	14,828.00
		10.090		20.900		
	A2 - 0.65 - 6	10.050	10.031	20.850	20.825	14,679.40
		10.011		20.800		
A los 28 días	A2 - 0.65 - 7	10.040	10.070	20.650	20.725	15,906.20
		10.100		20.800		
	A2 - 0.65 - 8	10.040	10.045	20.800	20.750	16,690.00
		10.050		20.700		
	A2 - 0.65 - 9	10.060	10.050	20.900	20.775	15,857.00
		10.040		20.800		
	A2 - 0.65 - 10	9.990	10.045	20.650	20.525	16,444.50
		10.100		20.400		
	A2 - 0.65 - 11	10.050	10.100	20.500	20.600	16,380.00
		10.150		20.700		
	A2 - 0.65 - 12	10.000	10.025	20.550	20.575	16,042.80
		10.050		20.600		

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° V.4 se visualiza la rotura de una probeta ensayada en el equipo de compresión, así mismo, también se muestra la Figura N° V.5 la cual indica el resultado que el equipo determina por defecto de la resistencia a la compresión de la probeta ensayada.



Figura N° V.4. Ensayo de compresión.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° V.5. Resultado de la probeta roturada.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Ensayo de tracción por compresión diametral

Para la realización de este ensayo se siguieron las indicaciones de la NTP 339.084, así mismo, se menciona que solo se consideró realizar diseños para la relación a/c de 0.55. Se planteó el procedimiento similar al ensayo de resistencia a la compresión.

5.2.2.1 Codificación de probetas

Las probetas ensayadas tuvieron que ser codificadas para un mejor control. A continuación, se presenta la Tabla N° V.32 indicando la simbología considerada:

Tabla N° V.32. Simbología del diseño de mezcla.

Diseño	Descripción
A0	Diseño de mezcla del concreto patrón (concreto sin ninguna proporción de aditivo).
A1	Diseño de mezcla con el primer porcentaje de aditivo 1.2 en % de peso del cemento.
A2	Diseño de mezcla con el segundo porcentaje de aditivo 2.4 en % de peso del cemento.

Fuente: Elaboración propia.

Codificación:

Diseño - Relación a/c - (Número de probeta)CD

Ejemplo:

A0 - 0.55 - 7CD

Donde:

A0 - 0.55 - 7CD: Probeta número 7 para compresión diametral del concreto patrón (A0) perteneciente a la relación a/c=0.55.

5.2.2.2 Compresión diametral de probetas

Una vez codificadas los testigos, se procedió a realizar el ensayo de tracción por compresión diametral de las probetas. Las siguientes tablas indican los resultados obtenidos:

a) Resultados del diseño (A0).

Tabla N° V.33. Rotura de probetas (A0) a compresión diametral, a/c=0.55.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)		Altura H (cm)		Fuerza (kg-f)
		Medición	Promedio	Medición	Promedio	
a los 3 días	A0 - 0.55 - 1CD	10.010	9.990	20.700	20.600	7,665.80
		9.970		20.500		
	A0 - 0.55 - 2CD	10.000	10.013	20.700	20.650	
		10.025		20.600		
	A0 - 0.55 - 3CD	9.975	9.973	20.600	20.650	
		9.970		20.700		
a los 7 días	A0 - 0.55 - 4CD	10.050	10.075	20.800	20.775	9,665.80
		10.100		20.750		
	A0 - 0.55 - 5CD	10.070	10.080	20.650	20.700	
		10.090		20.750		
	A0 - 0.55 - 6CD	10.080	10.075	20.700	20.700	
		10.070		20.700		
a los 28 días	A0 - 0.55 - 7CD	10.070	10.050	20.600	20.550	11,836.80
		10.030		20.500		
	A0 - 0.55 - 8CD	10.080	10.070	20.450	20.525	
		10.060		20.600		
	A0 - 0.55 - 9CD	10.050	10.060	20.700	20.575	
		10.070		20.450		

Fuente: Elaboración propia.

b) Resultados del diseño (A1).

Tabla N° V.34. Rotura de probetas (A1) a compresión diametral, a/c=0.55.

Fecha Rotura	Código	Diámetro D (cm)		Altura H (cm)		Fuerza (kg-f)
		Medición	Promedio	Medición	Promedio	
a los 3 días	A1 - 0.55 - 1CD	10.025	10.035	20.700	20.750	9,212.10
		10.045		20.800		
	A1 - 0.55 - 2CD	10.050	10.025	20.800	20.825	
		10.000		20.850		
	A1 - 0.55 - 3CD	10.035	10.023	20.700	20.710	
		10.010		20.720		
a los 7 días	A1 - 0.55 - 4CD	10.090	10.083	20.800	20.800	10,258.30
		10.075		20.800		
	A1 - 0.55 - 5CD	10.110	10.093	20.800	20.750	
		10.075		20.700		
	A1 - 0.55 - 6CD	10.110	10.108	20.700	20.675	
		10.105		20.650		

a los 28 días	A1 - 0.55 - 7CD	10.090	10.100	20.700	20.725	11,118.50
		10.110		20.750		
	A1 - 0.55 - 8CD	10.060	10.070	20.800	20.750	10,491.50
		10.080		20.700		
	A1 - 0.55 - 9CD	10.090	10.105	20.800	20.700	11,515.10
		10.120		20.600		

Fuente: Elaboración propia.

c) Resultados del diseño (A2).

Tabla N° V.35. Rotura de probetas (A2) a compresión diametral, $a/c=0.55$.

Fecha Rotura	Código	Diámetro D (cm)		Altura H (cm)		Fuerza (kg-f)
		Medición	Promedio	Medición	Promedio	
a los 3 días	A2 - 0.55 - 1CD	10.055	10.048	20.700	20.650	8,214.20
		10.040		20.600		
	A2 - 0.55 - 2CD	10.100	10.085	20.800	20.700	8,123.10
		10.070		20.600		
	A2 - 0.55 - 3CD	10.060	10.053	20.700	20.650	8,921.20
		10.045		20.600		
a los 7 días	A2 - 0.55 - 4CD	10.040	10.050	20.600	20.700	9,424.50
		10.060		20.800		
	A2 - 0.55 - 5CD	10.090	10.085	20.600	20.650	9,165.90
		10.080		20.700		
	A2 - 0.55 - 6CD	10.070	10.065	20.600	20.550	9,812.10
		10.060		20.500		
a los 28 días	A2 - 0.55 - 7CD	10.040	10.075	20.700	20.600	10,682.80
		10.110		20.500		
	A2 - 0.55 - 8CD	10.000	10.000	20.700	20.650	10,112.90
		10.000		20.600		
	A2 - 0.55 - 9CD	9.980	9.990	20.600	20.650	9,919.50
		10.000		20.700		

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI : ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo tiene por objetivo analizar los resultados obtenidos en el Capítulo V en base a todos los ensayos realizados y compararlos mediante tablas y/o gráficos, de tal manera que se pueda tener una mejor apreciación.

6.1 ENSAYO DE ASENTAMIENTO (SLUMP)

Con los resultados obtenidos de Asentamiento descritos en la Tabla N° V.1 del Capítulo V, se procedió a realizar la siguiente figura:

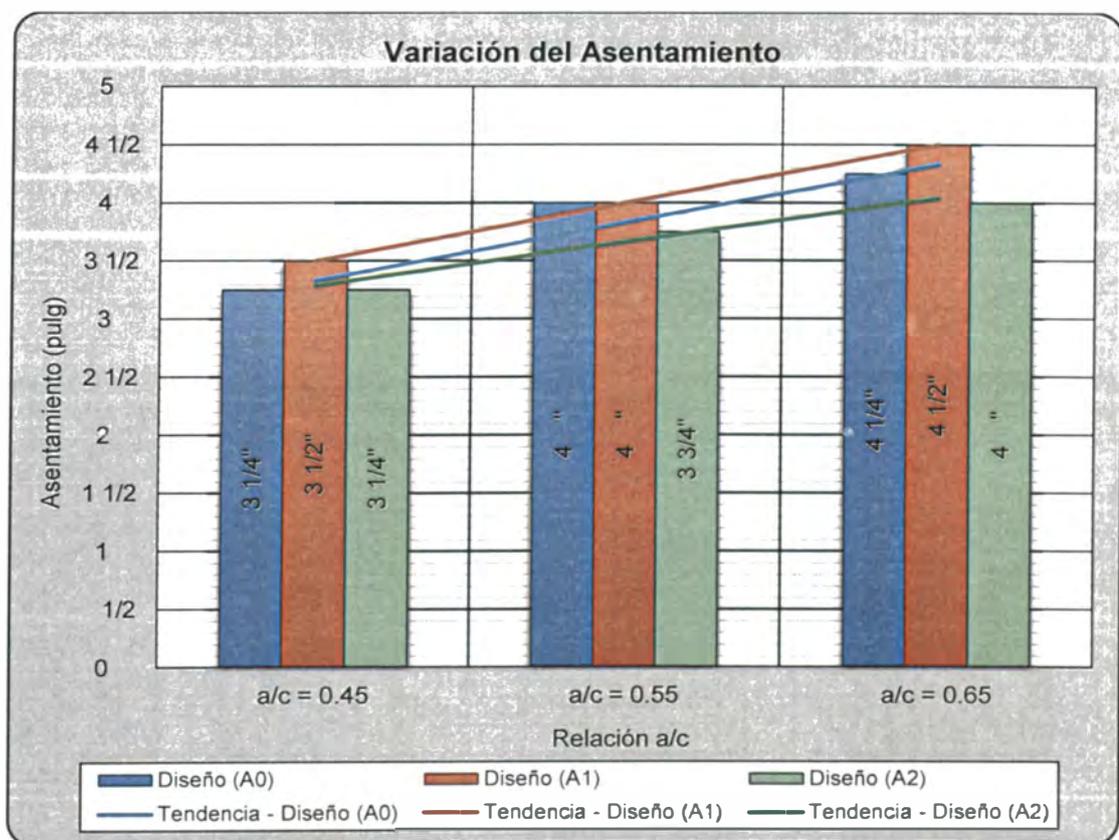


Figura N° VI.1. Variación del Asentamiento para los diferentes diseños realizados.

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la Figura N° VI.1, el mínimo asentamiento obtenido fue de 3 1/4" y el máximo de 4 1/2", dando una diferencia de 1 1/4". Si bien se planteó un rango en el asentamiento de 3" a 5" se buscó que estos valores no estuvieran muy alejados entre sí, ya que, de esta manera se podrían obtener mezclas de semejante trabajabilidad.

Si bien no hay una tendencia marcada para los diferentes diseños de una misma relación a/c, se puede apreciar que conforme ha ido aumentando la relación a/c también ha aumentado el asentamiento.

6.2 ENSAYO PESO UNITARIO

A continuación se presenta la Tabla N° VI.1 resumiendo todos los pesos unitarios obtenidos:

Tabla N° VI.1. Resumen de los Pesos Unitarios obtenidos.

Relación a/c	Diseño de mezcla	P.U. (kg/m ³)
0.45	Diseño (A0)	2364.89
	Diseño (A1)	2378.72
	Diseño (A2)	2370.21
0.55	Diseño (A0)	2334.04
	Diseño (A1)	2344.68
	Diseño (A2)	2350.00
0.65	Diseño (A0)	2313.83
	Diseño (A1)	2309.57
	Diseño (A2)	2329.79

Fuente: Elaboración propia.

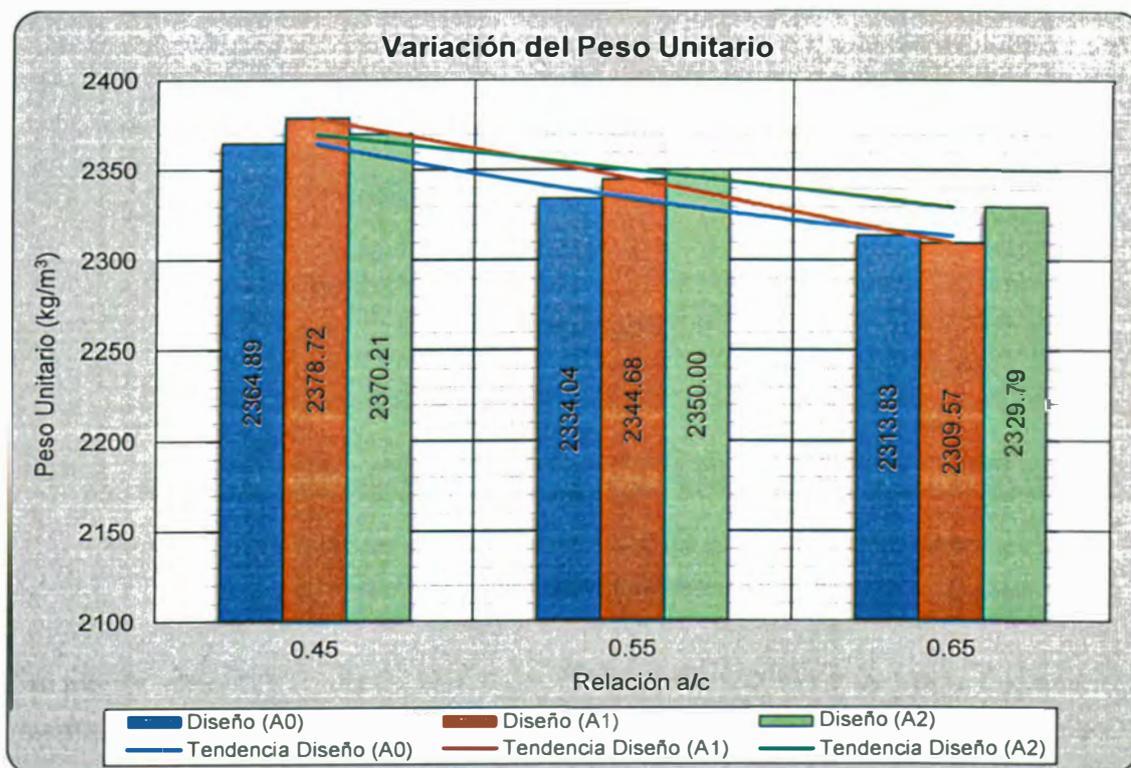


Figura N° VI.2. Variación del Peso Unitario para los diferentes diseños realizados.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Figura N° VI.2 se observa que para diferentes diseños de una misma relación a/c el Peso Unitario tiende a ser mayor cuando se le adiciona aditivo. Así mismo, el Peso Unitario ha ido disminuyendo conforme se incrementó la relación a/c. Los resultados del P. U. se encuentran dentro del rango de 2378.72 kg/m³ (máximo) y 2309.57 kg/m³ (mínimo). Se están obteniendo mayores valores para la relación a/c de 0.45

6.3 ENSAYO CONTENIDO DE AIRE

Con los resultados obtenidos de Asentamiento, descritos en la Tabla N° V.3 del Capítulo V, se procedió a graficarlos para realizar un mejor análisis.

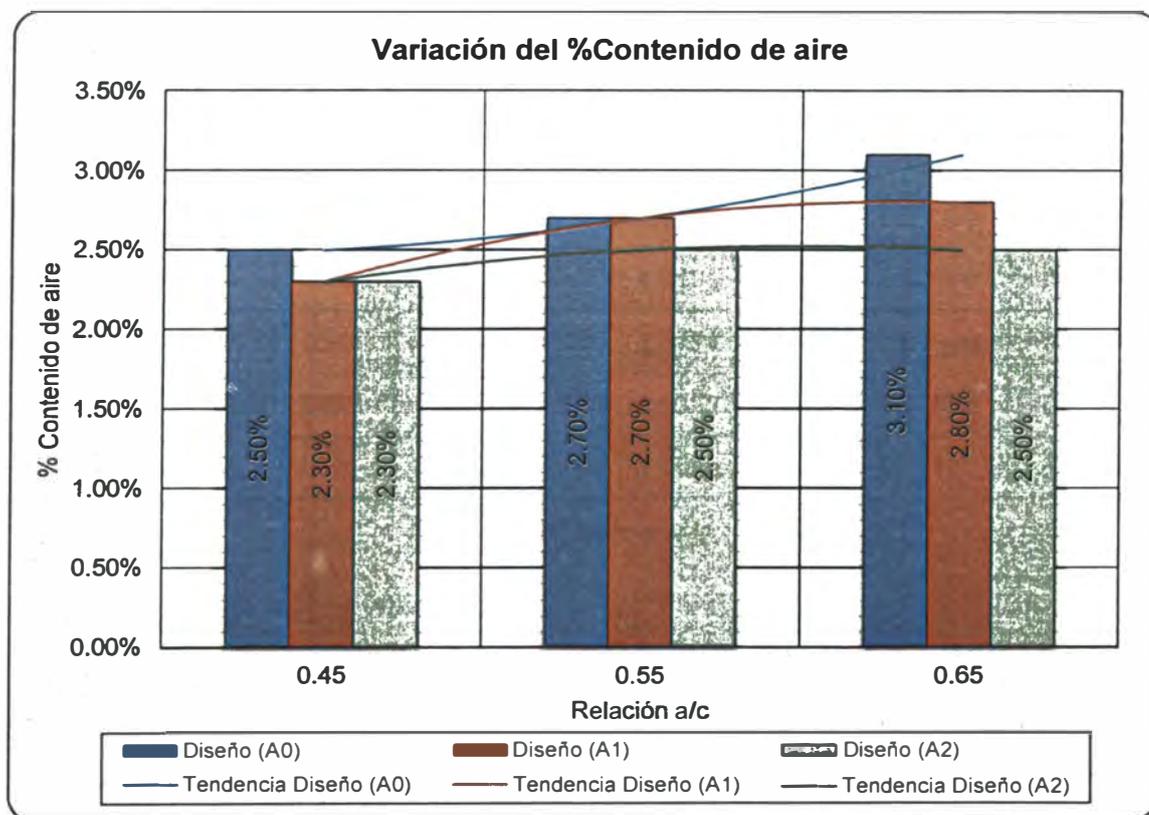


Figura N° VI.3. Variación del Contenido de Aire para los diferentes diseños realizados.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede visualizar que en la Figura N° VI.3 el contenido de aire, para una misma relación a/c, disminuye conforme aumenta la cantidad de aditivo acelerante de fragua y de resistencia. Así mismo, el contenido de aire tiende a aumentar conforme aumenta la relación a/c.

6.4 ENSAYO DE EXUDACIÓN DEL CONCRETO

Una vez realizado el ensayo de exudación para cada tipo de diseño y relación a/c, se procede a realizar unos cálculos previos para determinar el % de exudación. A continuación, se presenta la Tabla N° VI.2 indicando todos los cálculos realizados y el resultado final de la exudación:

Tabla N° VI.2. %Exudación en función de la relación a/c y del diseño.

Diseño de mezcla	Aditivo	Relación a/c	Peso de la muestra (kg)	Peso total tanda (kg)	Agua total tanda (lt)	Agua en el molde (lt)	Exudación total (lt)	% Exudación
Diseño (A0)	0.00%	0.45	22.23	44.90	5.3549	2.6512	0.01220	0.460%
Diseño (A1)	1.20%	0.45	22.36	45.00	5.1422	2.5551	0.00900	0.352%
Diseño (A2)	2.40%	0.45	22.28	45.70	4.4577	2.1732	0.00730	0.336%
Diseño (A0)	0.00%	0.55	21.94	45.40	4.6402	2.2424	0.01520	0.678%
Diseño (A1)	1.20%	0.55	22.04	45.50	4.5435	2.2008	0.01250	0.568%
Diseño (A2)	2.40%	0.55	22.09	46.10	4.0130	1.9230	0.01000	0.520%
Diseño (A0)	0.00%	0.65	21.75	45.70	4.3124	2.0524	0.01880	0.916%
Diseño (A1)	1.20%	0.65	21.71	45.90	4.1022	1.9403	0.01550	0.799%
Diseño (A2)	2.40%	0.65	21.90	46.50	3.5699	1.6813	0.01180	0.702%

Fuente: Elaboración propia.

La tabla presentada también indica todas las posibles combinaciones en que pueden variar los resultados. A continuación, se muestra gráficamente los datos obtenidos, donde se puede apreciar la variación del porcentaje de exudación para cada tipo de diseño y la tendencia a lo largo de los diferentes diseños:

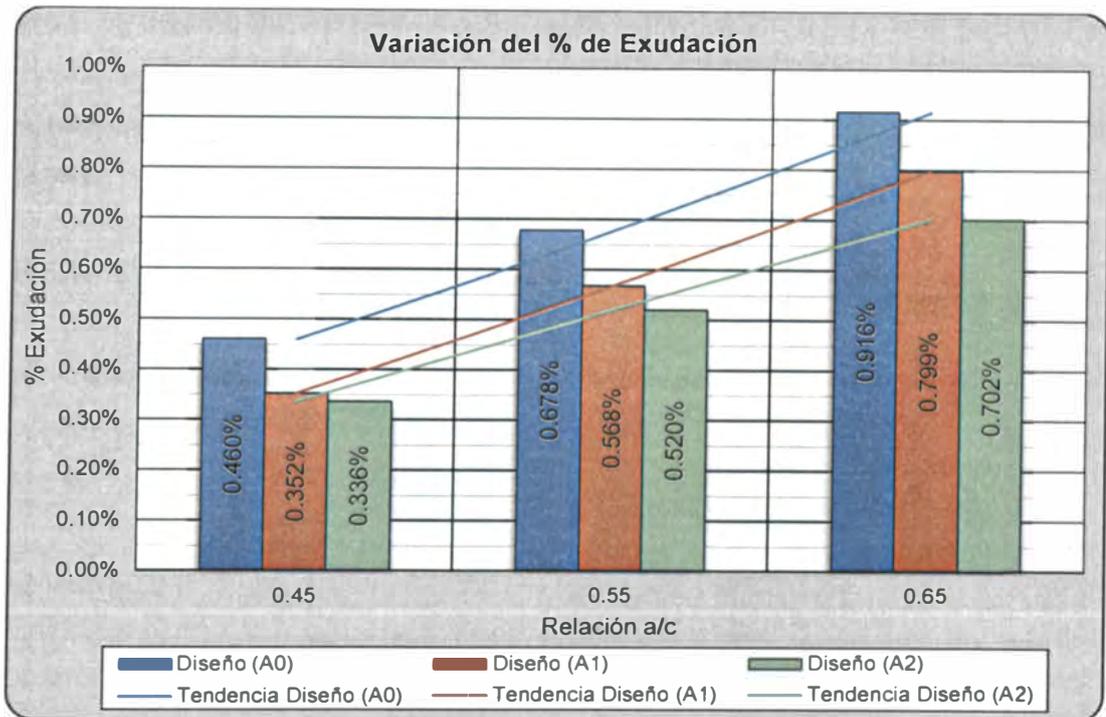


Figura N° VI.4. Variación del %Exudación en función de la relación a/c para los diferentes diseños.
 Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° VI.4, se observa que para una misma relación a/c el porcentaje de exudación disminuye al ir aumentando la cantidad de aditivo, de igual manera ocurre para todas las relaciones a/c. Así mismo, el resultado de la exudación de cada diseño (con un mismo porcentaje de aditivo) para una diferente relación a/c tiende a aumentar. Adicionalmente a todo, se muestra gráficamente la variación del %exudación respecto a la cantidad de aditivo (en forma de porcentaje):

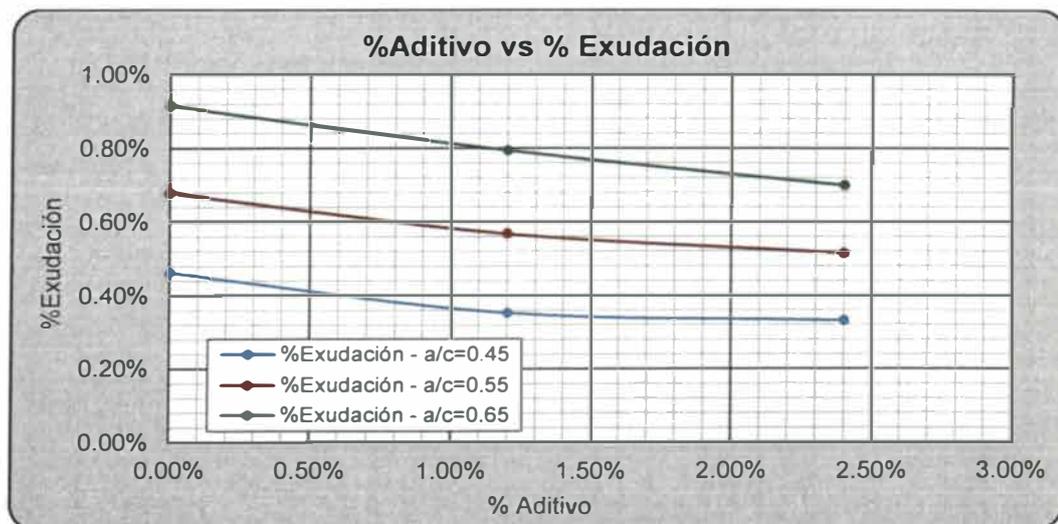


Figura N° VI.5. Variación del %Exudación en función del %Aditivo.
 Fuente: Elaboración propia.

6.5 ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA

A manera de resumen, se presenta todos los resultados obtenidos para tipo de diseño.

6.5.1 Ensayo de tiempo de fragua para diseños con relación $a/c=0.45$

a) Para el diseño (A0)

Tabla N° VI.3. Resistencia a la penetración del diseño patrón (A0).

N°	Tiempo absoluto acumulado (min)	Resistencia a la penetración (lb/pulg ²)
1	0.00	0
2	125.00	80
3	195.00	180
4	235.00	440
5	265.00	900
6	295.00	1500
7	320.00	2920
8	340.00	5360
9	355.00	7120

Fuente: Elaboración propia.

En base a los resultados de la Tabla N° VI.3 se realizó el siguiente gráfico:

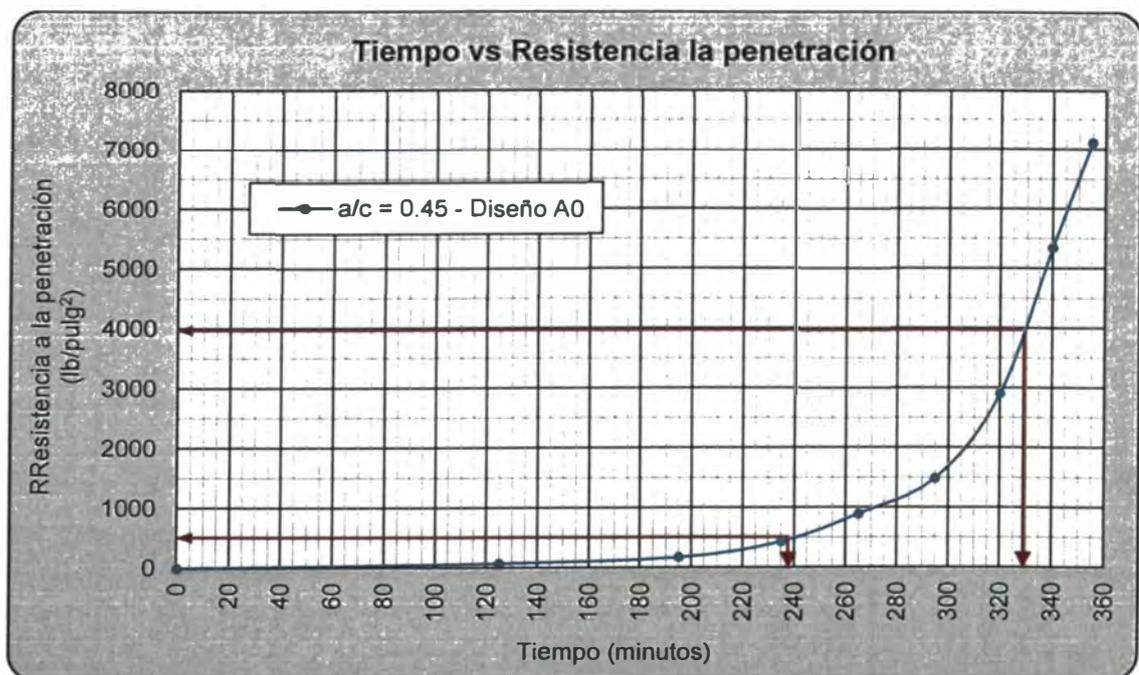


Figura N° VI.6. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A0).

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura presentada, se pudo determinar el tiempo de fragua inicial y final.

Tabla N° VI.4. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A0).

Fragua Inicial			Fragua Final		
Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)
238.00	3:58:00	500	330.00	5:30:00	4000

Fuente: Elaboración propia.

Análogamente se realizó el mismo procedimiento para los siguientes diseños restantes.

b) Para el diseño (A1)

Tabla N° VI.5. Resistencia a la penetración del diseño (A1).

N°	Tiempo absoluto acumulado (min)	Resistencia a la penetración (lb/pul ²)
1	0.00	0
2	110.00	110
3	170.00	260
4	210.00	536
5	243.00	1000
6	266.00	1660
7	289.00	3200
8	309.00	5200
9	323.00	6960

Fuente: Elaboración propia.

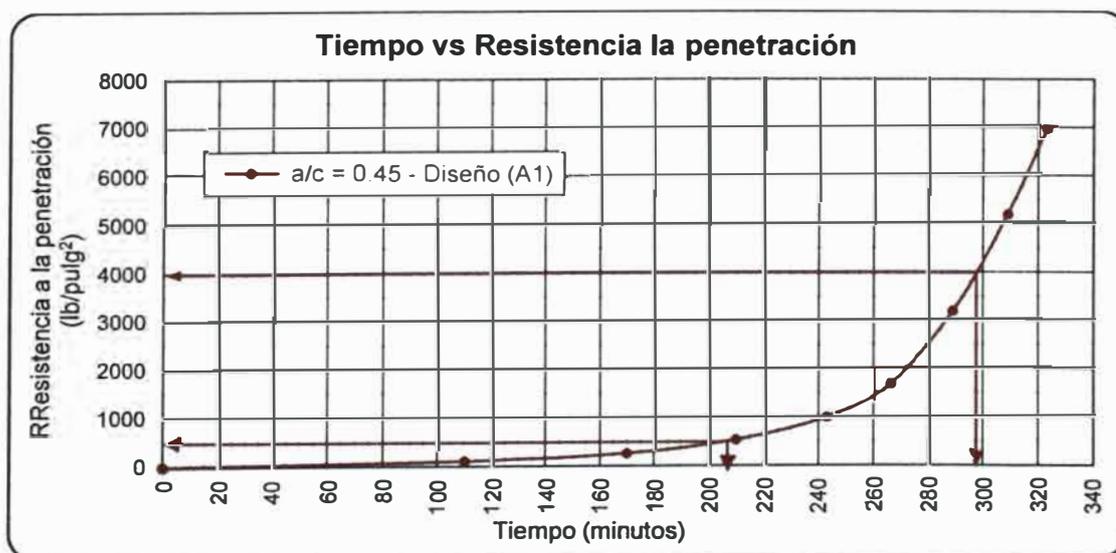


Figura N° VI.7. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A1).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.6. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A1).

FRAGUA INICIAL			FRAGUA FINAL		
Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)
207.00	3:27:00	500	297.00	4:57:00	4000

Fuente: Elaboración propia.

c) Para el diseño (A2)

Tabla N° VI.7. Resistencia a la penetración del diseño (A2).

N°	Tiempo absoluto acumulado (min)	Resistencia a la penetración (lb/pulg ²)
1	0.00	0
2	110.00	170
3	165.00	380
4	205.00	784
5	235.00	1400
6	260.00	2400
7	280.00	4000
8	295.00	6000
9	307.00	8000

Fuente: Elaboración propia.

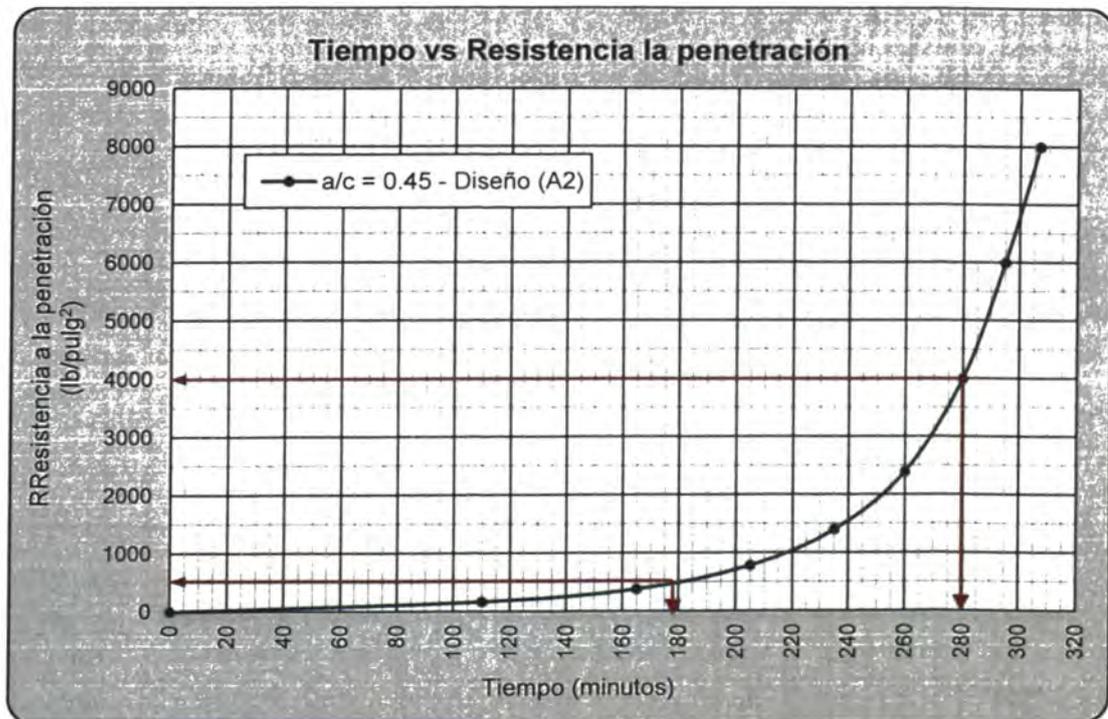


Figura N° VI.8. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A2).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.8. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A2).

FRAGUA INICIAL			FRAGUA FINAL		
Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)
178.00	2:58:00	500	279.00	4:39:00	4000

Fuente: Elaboración propia.

d) Resumen de los tres diseños

En esta parte se estas superponiendo las curvas dibujadas anteriormente, para así tener una mejor visualización de la tendencia que se genera.

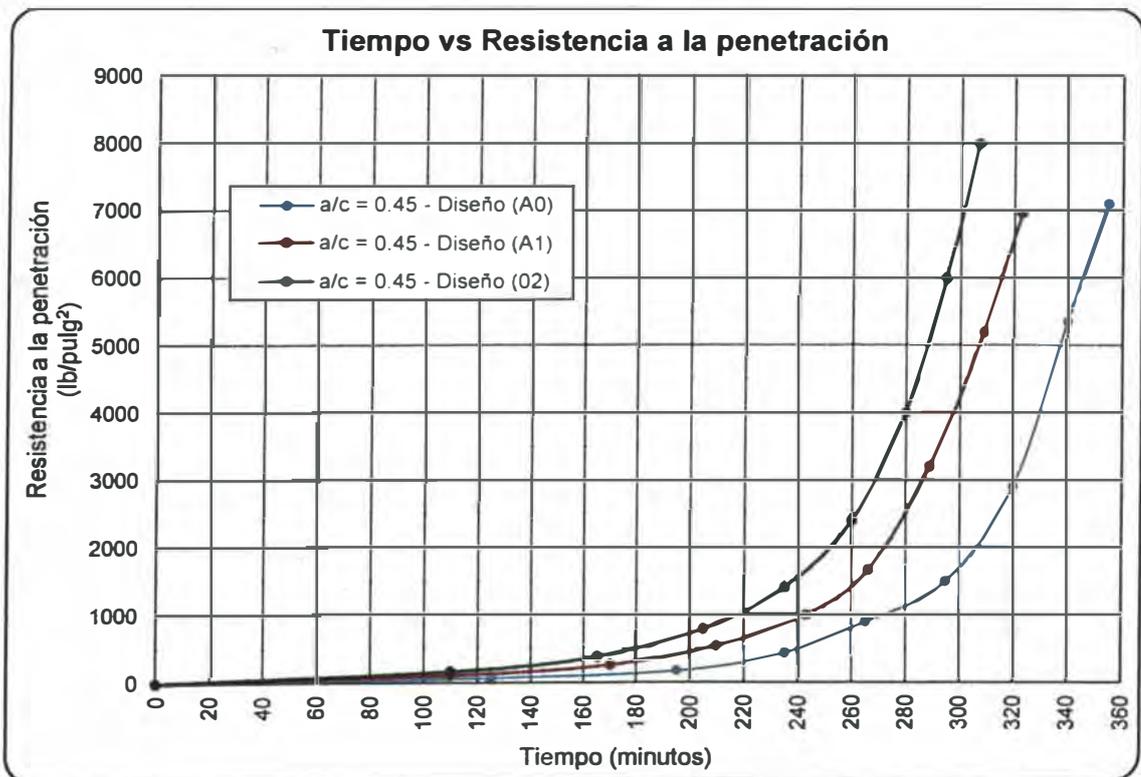


Figura N° VI.9. Variación del tiempo de fragua, a/c = 0.45.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.9. Fragua Inicial y Fragua Final para la relación a/c = 0.45.

Diseño	FRAGUA INICIAL			FRAGUA FINAL		
	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)
A0	238.00	3:58:00	500	330.00	5:30:00	4000
A1	207.00	3:27:00	500	297.00	4:57:00	4000
A2	178.00	2:58:00	500	279.00	4:39:00	4000

Fuente: Elaboración propia.

Se tiene que para diseños con relación $a/c=0.45$ se llega a reducir el tiempo de fragua respecto al concreto patrón. Al usar mayor cantidad de aditivo, el tiempo de fragua resulto ser menor.

6.5.2 Ensayo de tiempo de fragua para diseños con relación $a/c=0.55$

a) Para el diseño (A0)

Tabla N° VI.10. Resistencia a la penetración del diseño (A0).

N°	Tiempo absoluto acumulado (min)	Resistencia a la penetración (lb/pul ²)
1	0.00	0
2	150.00	110
3	230.00	240
4	290.00	600
5	320.00	1100
6	350.00	2160
7	370.00	3480
8	390.00	5600
9	405.00	7200

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° VI.10. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A0).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.11. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A0).

FRAGUA INICIAL			FRAGUA FINAL		
Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)
278.00	4:38:00	500	375.00	6:15:00	4000

Fuente: Elaboración propia.

b) Para el diseño (A1)

Tabla N° VI.12. Resistencia a la penetración del diseño (A1).

N°	Tiempo absoluto acumulado (min)	Resistencia a la penetración (lb/pul ²)
1	0.00	0
2	133.00	80
3	203.00	240
4	253.00	568
5	288.00	1200
6	318.00	2200
7	338.00	3400
8	353.00	4960
9	368.00	6320
10	378.00	7520

Fuente: Elaboración propia.

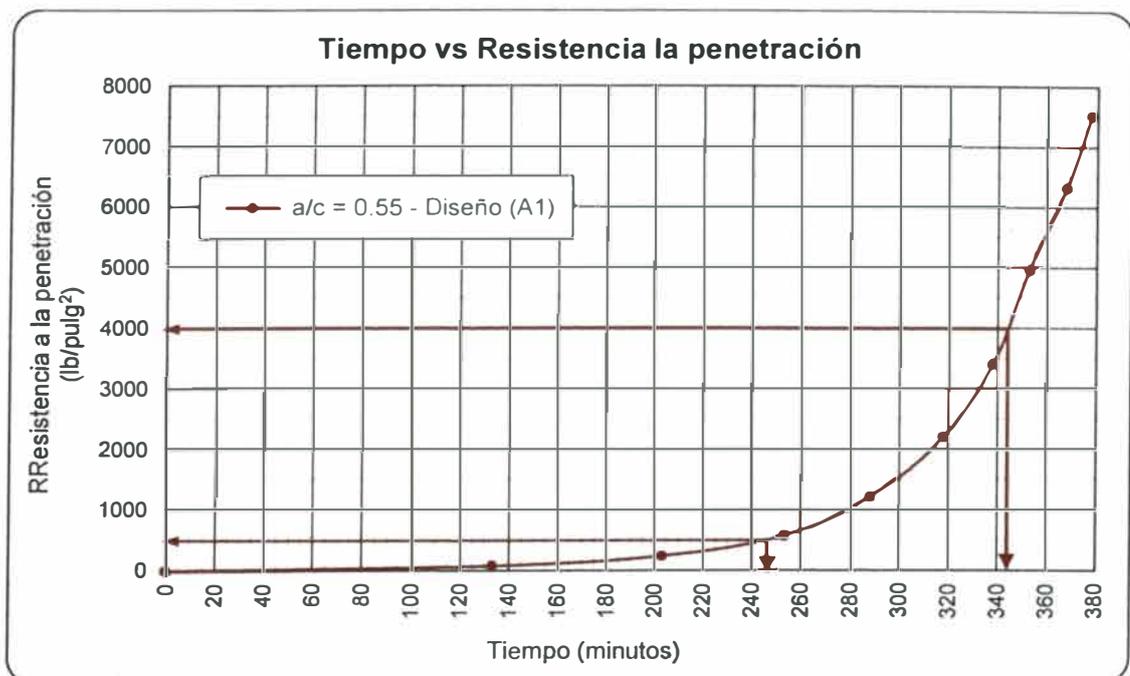


Figura N° VI.11. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A1).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.13. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A1).

FRAGUA INICIAL			FRAGUA FINAL		
Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)
246.00	4:06:00	500	344.00	5:44:00	4000

Fuente: Elaboración propia.

c) Para el diseño (A2)

Tabla N° VI.14. Resistencia a la penetración del diseño (A2).

N°	Tiempo absoluto acumulado (min)	Resistencia a la penetración (lb/pulg ²)
1	0.00	0
2	110.00	40
3	170.00	220
4	215.00	380
5	255.00	736
6	285.00	1600
7	315.00	3160
8	335.00	5600
9	350.00	7600

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° VI.12. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A2).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.15. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A2).

FRAGUA INICIAL			FRAGUA FINAL		
Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)
227.00	3:47:00	500	323.00	5:23:00	4000

Fuente: Elaboración propia.

d) Resumen de los tres diseños

En esta parte se estas superponiendo las curvas dibujadas anteriormente, para así tener una mejor visualización de la tendencia que se genera.

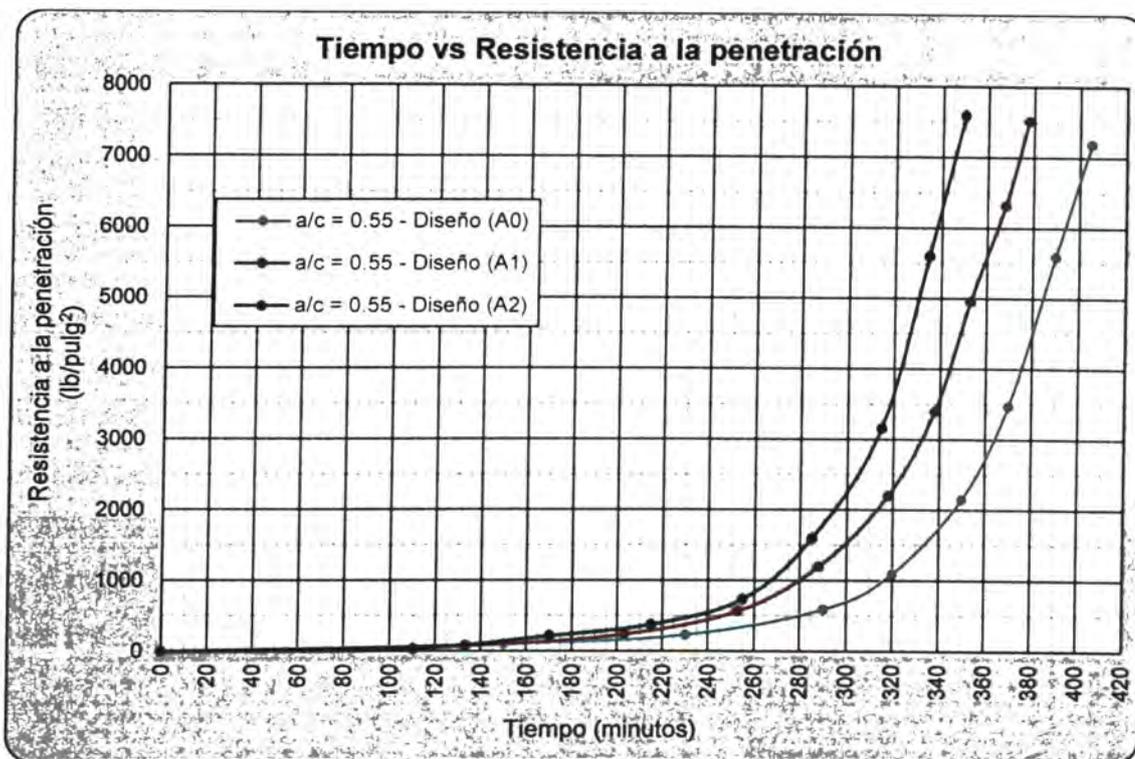


Figura N° VI.13. Variación del tiempo de fragua, a/c = 0.55

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.16. Fragua Inicial y Fragua Final para la relación a/c = 0.55.

Diseño	FRAGUA INICIAL			FRAGUA FINAL		
	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)
A0	278.00	4:38:00	500	375.00	6:15:00	4000
A1	246.00	4:06:00	500	344.00	5:44:00	4000
A2	227.00	3:47:00	500	323.00	5:23:00	4000

Fuente: Elaboración propia.

Se tiene que para diseños con relación $a/c=0.55$ se llega a reducir el tiempo de fragua respecto al concreto patrón, pero se demora más que los diseños cuya relación a/c es de 0.45. Sigue habiendo una tendencia en la disminución del tiempo de fragua al usar mayor cantidad de aditivo.

6.5.3 Ensayo de tiempo de fragua para diseños con relación $a/c=0.65$

a) Para el diseño (A0)

Tabla N° VI.17. Resistencia a la penetración del diseño (A0).

N°	Tiempo absoluto acumulado (min)	Resistencia a la penetración (lb/pul ²)
1	0.00	0
2	159.00	110
3	259.00	190
4	319.00	380
5	359.00	744
6	389.00	1740
7	419.00	3800
8	439.00	6000
9	450.00	7600

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° VI.14. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A0).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.18. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A0).

FRAGUA INICIAL			FRAGUA FINAL		
Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)
337.00	5:37:00	500	421.00	7:01:00	4000

Fuente: Elaboración propia.

b) Para el diseño (A1)

Tabla N° VI.19. Resistencia a la penetración del diseño (A1).

N°	Tiempo absoluto acumulado (min)	Resistencia a la penetración (lb/pul ²)
1	0.00	0
2	137.00	120
3	227.00	300
4	277.00	560
5	317.00	1000
6	347.00	2000
7	377.00	3400
8	397.00	5200
9	411.00	6800
10	418.00	7760

Fuente: Elaboración propia.

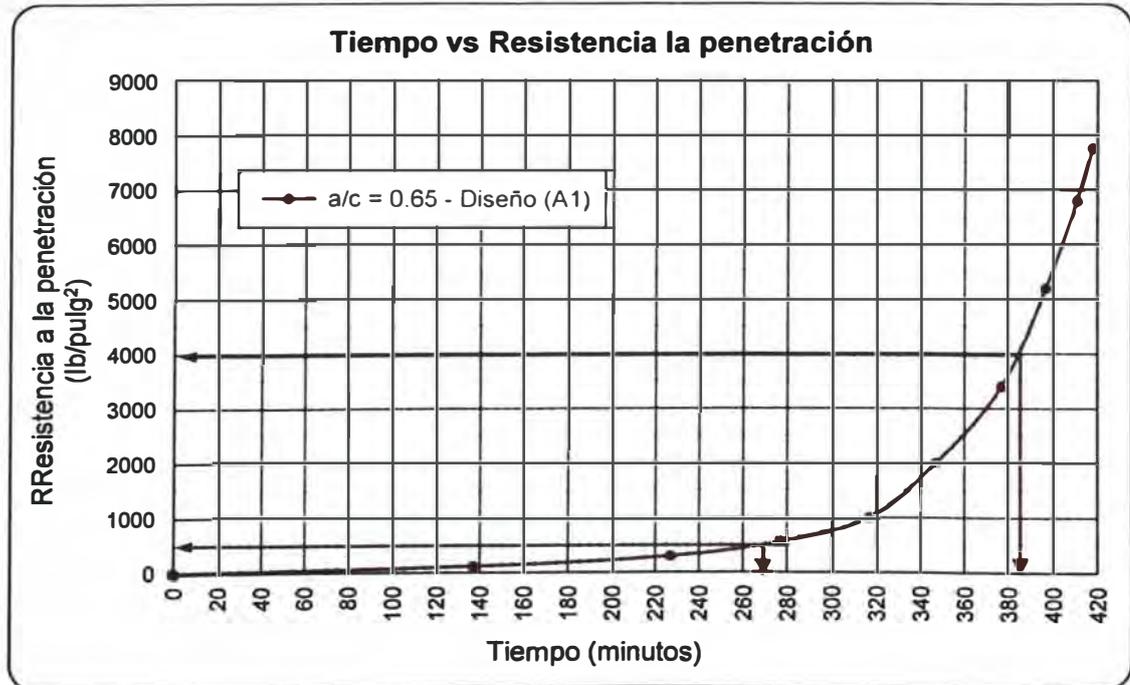


Figura N° VI.15. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A1).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.20. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A1).

FRAGUA INICIAL			FRAGUA FINAL		
Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)
268.00	4:28:00	500	385.00	6:25:00	4000

Fuente: Elaboración propia.

c) Para el diseño (A2)

Tabla N° VI.21. Resistencia a la penetración del diseño (A2).

N°	Tiempo absoluto acumulado (min)	Resistencia a la penetración (lb/pul ²)
1	0.00	0
2	145.00	100
3	225.00	300
4	275.00	720
5	307.00	1300
6	334.00	2400
7	357.00	3840
8	375.00	5600
9	388.00	7600

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° VI.16. Tiempo vs Resistencia a la penetración, diseño (A2).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.22. Fragua Inicial y Fragua Final, diseño (A2).

FRAGUA INICIAL			FRAGUA FINAL		
Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)
253.00	4:13:00	500	358.00	5:58:00	4000

Fuente: Elaboración propia.

d) Resumen de los tres diseños

En esta parte se estas superponiendo las curvas dibujadas anteriormente, para así tener una mejor visualización de la tendencia que se genera.



Figura N° VI.17. Tiempo vs Resistencia a la penetración, a/c=0.65.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.23. Fragua Inicial y Fragua Final para la relación a/c = 0.65.

Diseño	FRAGUA INICIAL			FRAGUA FINAL		
	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Fuerza (lb/pulg ²)
A0	337.00	5:37:00	500	421.00	7:01:00	4000

A1	268.00	4:28:00	500	385.00	6:25:00	4000
A2	253.00	4:13:00	500	358.00	5:58:00	4000

Fuente: Elaboración propia.

Se tiene que para diseños con relación $a/c=0.65$ se llega a reducir el tiempo de fragua respecto al concreto patrón, pero se demora más que los diseños cuya relación a/c es de 0.55. Sigue habiendo una tendencia en la disminución del tiempo de fragua al usar mayor cantidad de aditivo.

Análogamente, se pueden determinar la variación del tiempo de fragua en función de la relación a/c . Los siguientes gráficos muestran los resultados de estas variaciones.

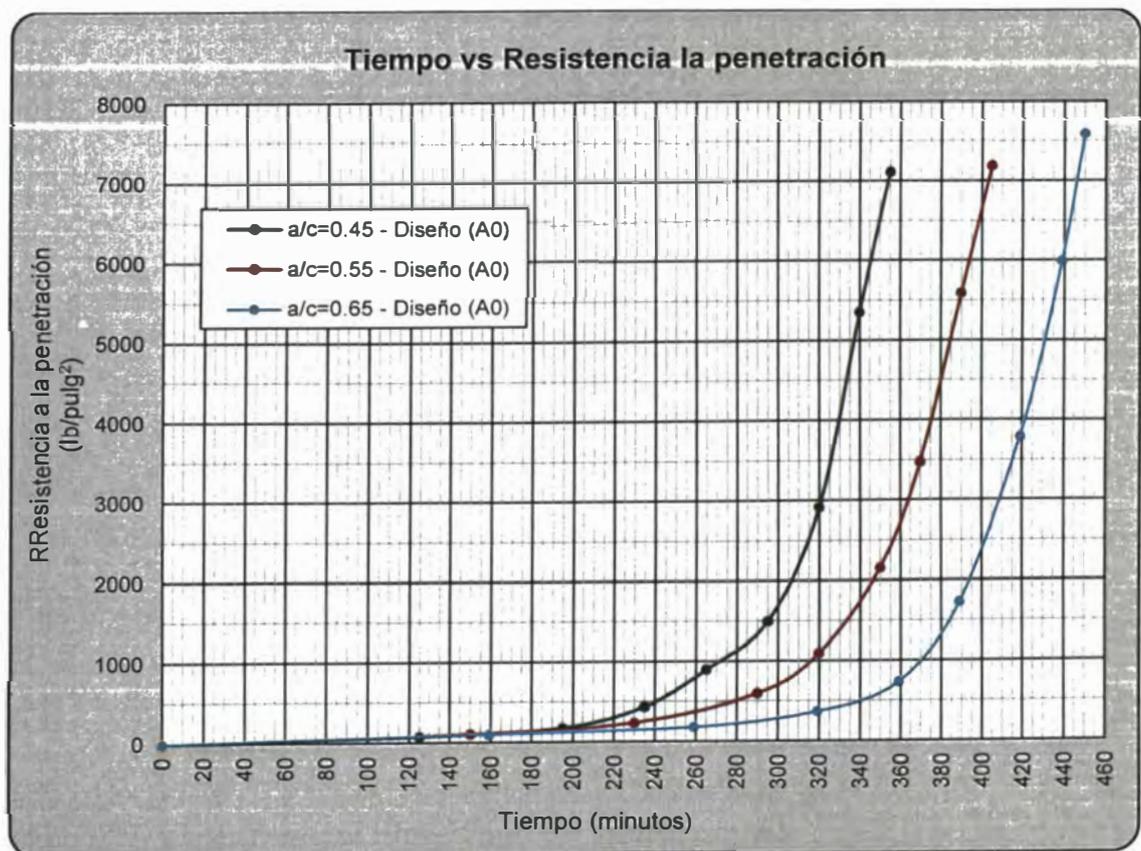


Figura N° VI.18. Tiempo vs Resistencia a la penetración (A0).

Fuente: Elaboración propia.

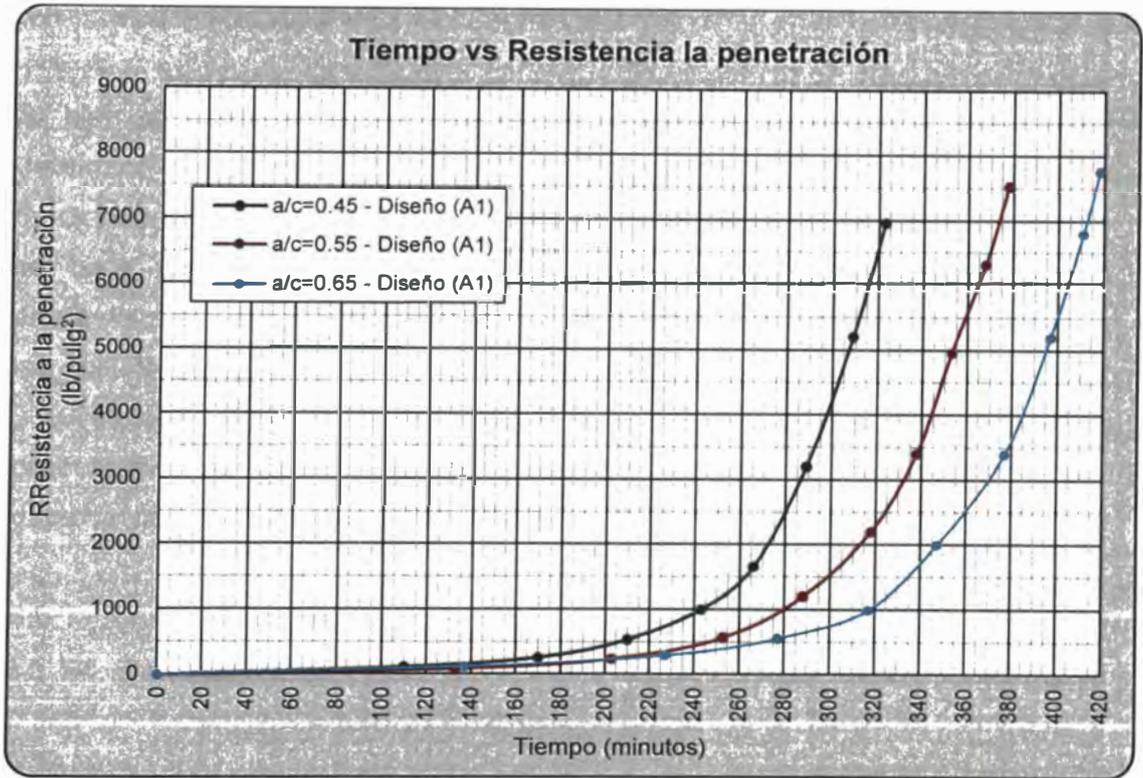


Figura N° VI.19. Tiempo vs Resistencia a la penetración (A1).

Fuente: Elaboración propia.

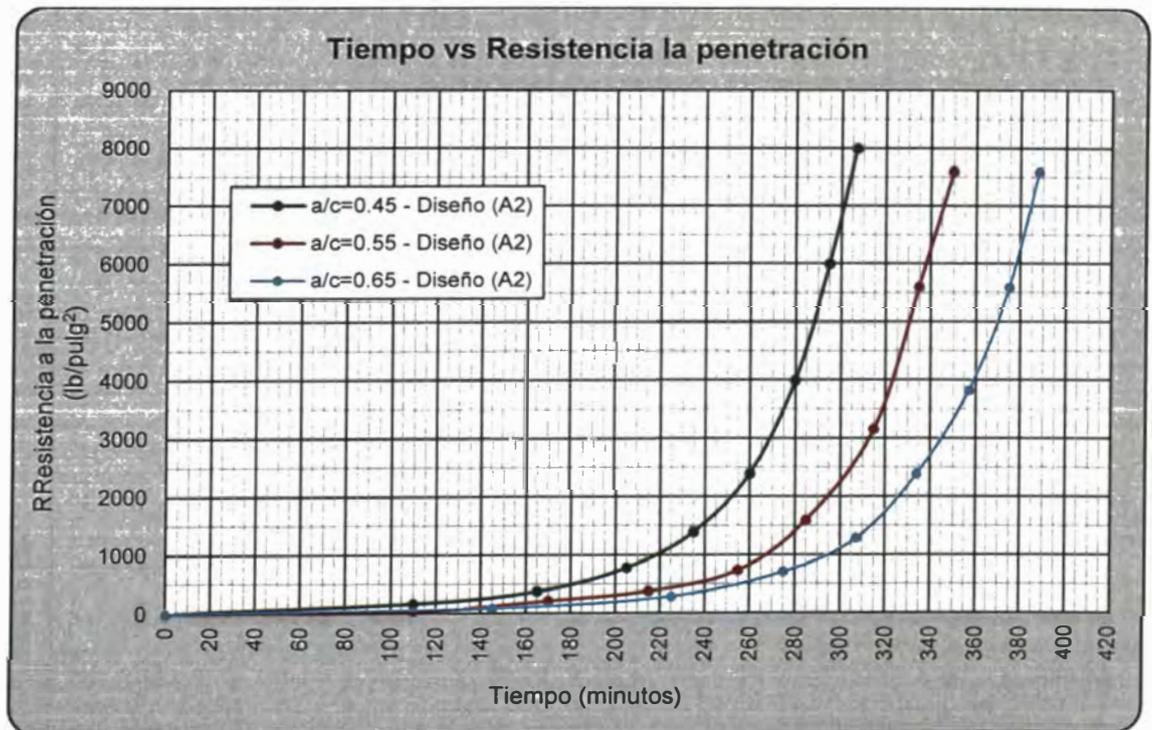


Figura N° VI.20. Tiempo vs Resistencia a la penetración (A2).

Fuente: Elaboración propia.

6.6 ENSAYO COMPRESIÓN DE PROBETAS

Si bien es cierto el equipo que ayuda a realizar el ensayo a compresión determina directamente el valor de la resistencia f_c para una probeta de 0.10x0.20m, estas dimensiones no son exactas en todas las probetas, por lo que se tiene que medirlas, es más, hay casos en que si la relación de la altura/diámetro es igual o menor que 1.75, se tiene que realizar correcciones a las resistencias f_c multiplicándolas por un factor tal como lo indica la NTP 339.034 cambiando así la resistencia medida por el equipo. Debido a esto, presentamos las siguientes tablas que nos indican el procedimiento para determinar la resistencia de las probetas.

6.6.1 Probetas de Diseño (A0)

En las siguientes tablas apreciamos los resultados de las resistencias para el diseño patrón (A0) de las tres relaciones a/c ensayadas a diferentes edades (3, 7 y 28 días).

Tabla N° VI.24. Resistencia de probetas (A0), a/c=0.45.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)	Altura H (cm)	Fuerza (kg-f)	Área (cm ²)	f_c (kg/cm ²)	H/D	Factor Correc.	f_c corregida (kg/cm ²)
A los 3 días	A0 - 0.45 - 1	10.11	20.71	18,230.70	80.32	226.98	2.05	1.0	226.98
	A0 - 0.45 - 2	10.22	20.79	19,262.50	81.95	235.04	2.04	1.0	235.04
	A0 - 0.45 - 3	10.17	20.68	18,157.00	81.27	223.41	2.03	1.0	223.41
A los 7 días	A0 - 0.45 - 4	10.00	20.75	20,984.50	78.46	267.45	2.08	1.0	267.45
	A0 - 0.45 - 5	9.99	20.75	20,966.70	78.38	267.49	2.08	1.0	267.49
	A0 - 0.45 - 6	9.99	20.83	21,300.00	78.30	272.02	2.09	1.0	272.02
A los 28 días	A0 - 0.45 - 7	10.09	20.65	31,234.80	79.92	390.82	2.05	1.0	390.82
	A0 - 0.45 - 8	10.10	20.70	31,308.70	80.04	391.17	2.05	1.0	391.17
	A0 - 0.45 - 9	10.08	20.60	31,796.70	79.76	398.65	2.04	1.0	398.65
	A0 - 0.45 - 10	10.08	20.73	30,594.80	79.80	383.39	2.06	1.0	383.39
	A0 - 0.45 - 11	10.16	20.65	32,009.58	81.07	394.82	2.03	1.0	394.82
	A0 - 0.45 - 12	10.16	20.65	32,596.82	80.99	402.46	2.03	1.0	402.46

Fuente: Elaboración propia.

También presentamos algunos datos estadísticos que podemos obtener de los ensayos de las probetas:

Tabla N° VI.25. Resultados estadísticos (A0), a/c = 0.45.

Tiempo de rotura:	a los 3 días	a los 7 días	a los 28 días
Cantidad de probetas:	3	3	6
f'c_{promedio} (kg/cm²):	228.48	268.99	393.55
f'c_{máx} (kg/cm²):	235.04	272.02	402.46
f'c_{mín} (kg/cm²):	223.41	267.45	383.39
Desviación (D_s):	5.96	2.62	6.68
Coef. de Varia.:	2.61%	0.98%	1.70%

Fuente: Elaboración propia.

Análogamente hacemos los mis cálculos para las relaciones a/c de 0.55 y de 0.65:

Tabla N° VI.26. Resistencia de probetas (A0), a/c=0.55.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)	Altura H (cm)	Fuerza (kg-f)	Área (cm²)	f'c (kg/cm²)	H/D	Factor Correc.	f'c corregida (kg/cm²)
A los 3 días	A0 - 0.55 - 1	10.01	20.79	14,641.10	78.74	185.95	2.08	1.0	185.95
	A0 - 0.55 - 2	10.03	20.80	14,397.60	79.05	182.13	2.07	1.0	182.13
	A0 - 0.55 - 3	9.98	20.50	15,344.90	78.19	196.26	2.05	1.0	196.26
A los 7 días	A0 - 0.55 - 4	10.05	20.75	17,616.30	79.33	222.07	2.06	1.0	222.07
	A0 - 0.55 - 5	10.07	20.75	17,409.00	79.60	218.70	2.06	1.0	218.70
	A0 - 0.55 - 6	10.09	20.65	16,797.60	79.92	210.18	2.05	1.0	210.18
A los 28 días	A0 - 0.55 - 7	10.09	20.65	22,896.50	79.96	286.35	2.05	1.0	286.35
	A0 - 0.55 - 8	10.09	20.75	24,742.00	80.00	309.28	2.06	1.0	309.28
	A0 - 0.55 - 9	10.07	20.50	23,613.30	79.56	296.78	2.04	1.0	296.78
	A0 - 0.55 - 10	10.09	20.70	23,696.00	79.88	296.64	2.05	1.0	296.64
	A0 - 0.55 - 11	10.09	20.73	24,574.90	79.96	307.34	2.05	1.0	307.34
	A0 - 0.55 - 12	10.10	20.65	23,188.20	80.12	289.42	2.04	1.0	289.42

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.27. Resultados estadísticos (A0), a/c = 0.55.

Tiempo de rotura:	a los 3 días	a los 7 días	a los 28 días
--------------------------	--------------	--------------	---------------

Cantidad de probetas:	3	3	6
f'c_{promedio} (kg/cm²):	188.11	216.98	297.64
f'c_{máx} (kg/cm²):	196.26	222.07	309.28
f'c_{mín} (kg/cm²):	182.13	210.18	286.35
Desviación (D_s):	7.31	6.13	9.23
Coef. de Varia.:	3.89%	2.82%	3.10%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.28. Resistencia de probetas (A0), a/c=0.65.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)	Altura H (cm)	Fuerza (kg-f)	Área (cm ²)	f'c (kg/cm ²)	H/D	Factor Correc.	f'c corregida (kg/cm ²)
A los 3 días	A0 - 0.65 - 1	10.19	20.70	11,173.20	81.47	137.14	2.03	1.0	137.14
	A0 - 0.65 - 2	10.18	20.75	10,278.70	81.31	126.41	2.04	1.0	126.41
	A0 - 0.65 - 3	10.15	20.68	10,679.60	80.91	131.99	2.04	1.0	131.99
A los 7 días	A0 - 0.65 - 4	9.99	20.75	13,644.60	78.34	174.16	2.08	1.0	174.16
	A0 - 0.65 - 5	10.02	20.60	13,145.40	78.78	166.87	2.06	1.0	166.87
	A0 - 0.65 - 6	9.99	20.73	13,903.40	78.30	177.56	2.08	1.0	177.56
A los 28 días	A0 - 0.65 - 7	10.08	20.50	17,650.20	79.76	221.29	2.03	1.0	221.29
	A0 - 0.65 - 8	10.10	20.50	17,310.10	80.12	216.06	2.03	1.0	216.06
	A0 - 0.65 - 9	10.09	20.70	18,087.00	79.96	226.20	2.05	1.0	226.20
	A0 - 0.65 - 10	10.14	20.55	18,505.80	80.67	229.39	2.03	1.0	229.39
	A0 - 0.65 - 11	10.15	20.68	17,360.40	80.83	214.77	2.04	1.0	214.77
	A0 - 0.65 - 12	10.13	20.53	17,987.00	80.60	223.18	2.03	1.0	223.18

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.29. Resultados estadísticos (aA0), a/c = 0.65.

Tiempo de rotura:	a los 3 días	a los 7 días	a los 28 días
Cantidad de probetas:	3	3	6
f'c_{promedio} (kg/cm²):	131.85	172.86	221.81
f'c_{máx} (kg/cm²):	137.14	177.56	229.39
f'c_{mín} (kg/cm²):	126.41	166.87	214.77
Desviación (D_s):	5.37	5.46	5.68
Coef. de Varia.:	4.07%	3.16%	2.56%

Fuente: Elaboración propia.

6.6.2 Probetas de Diseño (A1)

En las siguientes tablas apreciamos los resultados de las resistencias para diseños con aditivo (A1) de las tres relaciones a/c ensayadas a diferentes edades (3, 7 y 28 días).

Tabla N° VI.30. Resistencia de probetas (A1), a/c=0.45.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)	Altura H (cm)	Fuerza (kg-f)	Área (cm ²)	f'c (kg/cm ²)	H/D	Factor Correc.	f'c corregida (kg/cm ²)
A los 3 días	A1 - 0.45 - 1	10.11	20.59	19,077.00	80.32	237.52	2.04	1.0	237.52
	A1 - 0.45 - 2	10.15	20.58	19,903.40	80.83	246.23	2.03	1.0	246.23
	A1 - 0.45 - 3	10.13	20.57	19,572.80	80.60	242.85	2.03	1.0	242.85
A los 7 días	A1 - 0.45 - 4	9.96	20.48	23,689.00	77.87	304.20	2.06	1.0	304.20
	A1 - 0.45 - 5	10.00	20.68	22,321.20	78.46	284.49	2.07	1.0	284.49
	A1 - 0.45 - 6	9.97	20.45	22,572.80	77.99	289.43	2.05	1.0	289.43
A los 28 días	A1 - 0.45 - 7	10.07	20.50	30,775.90	79.56	386.81	2.04	1.0	386.81
	A1 - 0.45 - 8	10.10	20.73	30,018.60	80.04	375.05	2.05	1.0	375.05
	A1 - 0.45 - 9	10.07	20.80	29,335.30	79.64	368.33	2.07	1.0	368.33
	A1 - 0.45 - 10	10.09	20.63	30,484.50	79.96	381.25	2.04	1.0	381.25
	A1 - 0.45 - 11	10.11	20.70	29,901.90	80.20	372.85	2.05	1.0	372.85
	A1 - 0.45 - 12	10.07	20.78	29,704.30	79.56	373.34	2.06	1.0	373.34

Fuente: Elaboración propia.

También presentamos algunos datos estadísticos que podemos obtener de los ensayos de las probetas:

Tabla N° VI.31. Resultados estadísticos (A1), a/c = 0.45.

Tiempo de rotura:	a los 3 días	a los 7 días	a los 28 días
Cantidad de probetas:	3	3	6
f'c _{promedio} (kg/cm ²):	242.20	292.70	376.27
f'c _{máx} (kg/cm ²):	246.23	304.20	386.81
f'c _{mín} (kg/cm ²):	237.52	284.49	368.33
Desviación (D _s):	4.39	10.26	6.64
Coef. de Varia.:	1.81%	3.50%	1.77%

Fuente: Elaboración propia.

Análogamente hacemos los mis cálculos para las relaciones a/c de 0.55 y de 0.65:

Tabla N° VI.32. Resistencia de probetas (A1), a/c=0.55.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)	Altura H (cm)	Fuerza (kg-f)	Área (cm ²)	f'c (kg/cm ²)	H/D	Factor Correc.	f'c corregida (kg/cm ²)
A los 3 días	A1 - 0.55 - 1	10.00	20.53	15,763.20	78.46	200.90	2.05	1.0	200.90
	A1 - 0.55 - 2	9.97	20.55	14,790.00	77.99	189.64	2.06	1.0	189.64
	A1 - 0.55 - 3	10.03	20.55	15,766.00	78.97	199.64	2.05	1.0	199.64
A los 7 días	A1 - 0.55 - 4	10.08	20.65	17,584.70	79.80	220.36	2.05	1.0	220.36
	A1 - 0.55 - 5	10.08	20.60	18,789.50	79.72	235.69	2.04	1.0	235.69
	A1 - 0.55 - 6	10.06	20.60	17,553.10	79.41	221.05	2.05	1.0	221.05
A los 28 días	A1 - 0.55 - 7	10.09	20.45	22,178.30	80.00	277.23	2.03	1.0	277.23
	A1 - 0.55 - 8	10.07	20.55	23,550.50	79.56	295.99	2.04	1.0	295.99
	A1 - 0.55 - 9	10.04	20.55	22,816.00	79.09	288.48	2.05	1.0	288.48
	A1 - 0.55 - 10	10.10	20.55	22,849.70	80.12	285.20	2.03	1.0	285.20
	A1 - 0.55 - 11	10.20	20.65	22,791.20	81.71	278.92	2.02	1.0	278.92
	A1 - 0.55 - 12	10.12	20.53	24,188.40	80.40	300.86	2.03	1.0	300.86

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.33. Resultados estadísticos (A1), a/c = 0.55.

Tiempo de rotura:	a los 3 días	a los 7 días	a los 28 días
Cantidad de probetas:	3	3	6
f'c_{promedio} (kg/cm²):	196.73	225.70	287.78
f'c_{máx} (kg/cm²):	200.90	235.69	300.86
f'c_{mín} (kg/cm²):	189.64	220.36	277.23
Desviación (D_s):	6.17	8.66	9.33
Coef. de Varia.:	3.14%	3.84%	3.24%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.34. Resistencia de probetas (A1), a/c=0.65.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)	Altura H (cm)	Fuerza (kg-f)	Área (cm ²)	f'c (kg/cm ²)	H/D	Factor Correc.	f'c corregida (kg/cm ²)
A los 3 días	A1 - 0.65 - 1	9.96	20.73	11,428.20	77.91	146.68	2.08	1.0	146.68
	A1 - 0.65 - 2	10.05	20.65	11,566.50	79.25	145.95	2.06	1.0	145.95
	A1 - 0.65 - 3	10.03	20.55	11,723.00	78.97	148.44	2.05	1.0	148.44
A los 7 días	A1 - 0.65 - 4	10.07	20.83	14,346.20	79.60	180.22	2.07	1.0	180.22
	A1 - 0.65 - 5	10.09	20.95	13,811.20	79.92	172.81	2.08	1.0	172.81
	A1 - 0.65 - 6	10.08	20.85	14,332.40	79.84	179.51	2.07	1.0	179.51
A los 28 días	A1 - 0.65 - 7	10.05	20.95	16,679.60	79.33	210.26	2.08	1.0	210.26
	A1 - 0.65 - 8	10.07	20.80	16,339.70	79.64	205.16	2.07	1.0	205.16
	A1 - 0.65 - 9	10.07	20.70	17,173.20	79.60	215.73	2.06	1.0	215.73
	A1 - 0.65 - 10	10.03	20.75	16,506.90	79.01	208.92	2.07	1.0	208.92
	A1 - 0.65 - 11	10.04	20.65	16,635.20	79.21	210.02	2.06	1.0	210.02
	A1 - 0.65 - 12	10.05	20.50	17,246.00	79.25	217.62	2.04	1.0	217.62

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.35. Resultados estadísticos (A1), a/c = 0.65.

Tiempo de rotura:	a los 3 días	a los 7 días	a los 28 días
Cantidad de probetas:	3	3	6
f'c_{promedio} (kg/cm²):	147.03	177.51	211.29
f'c_{máx} (kg/cm²):	148.44	180.22	217.62
f'c_{mín} (kg/cm²):	145.95	172.81	205.16
Desviación (D_s):	1.28	4.09	4.60
Coef. de Varia.:	0.87%	2.30%	2.18%

Fuente: Elaboración propia.

6.6.3 Probetas de Diseño (A2)

En las siguientes tablas apreciamos los resultados de las resistencias para diseños con aditivo (A2) de las tres relaciones a/c ensayadas a diferentes edades (3, 7 y 28 días).

Tabla N° VI.36. Resistencia de probetas (A2), a/c=0.45.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)	Altura H (cm)	Fuerza (kg-f)	Área (cm ²)	f'c (kg/cm ²)	H/D	Factor Correc.	f'c corregida (kg/cm ²)
A los 3 días	A2 - 0.45 - 1	10.05	20.85	19,702.80	79.25	248.62	2.08	1.0	248.62
	A2 - 0.45 - 2	10.05	20.80	19,063.00	79.33	240.31	2.07	1.0	240.31
	A2 - 0.45 - 3	10.04	20.90	18,412.00	79.13	232.68	2.08	1.0	232.68
A los 7 días	A2 - 0.45 - 4	10.06	20.75	22,718.70	79.45	285.97	2.06	1.0	285.97
	A2 - 0.45 - 5	10.06	20.90	21,847.80	79.49	274.87	2.08	1.0	274.87
	A2 - 0.45 - 6	10.06	20.85	23,057.70	79.41	290.38	2.07	1.0	290.38
A los 28 días	A2 - 0.45 - 7	10.05	20.75	26,443.40	79.25	333.68	2.07	1.0	333.68
	A2 - 0.45 - 8	10.05	20.80	25,874.00	79.25	326.49	2.07	1.0	326.49
	A2 - 0.45 - 9	9.99	20.75	26,719.60	78.30	341.23	2.08	1.0	341.23
	A2 - 0.45 - 10	10.04	20.50	25,560.40	79.09	323.18	2.04	1.0	323.18
	A2 - 0.45 - 11	10.08	20.73	26,974.40	79.80	338.02	2.06	1.0	338.02
	A2 - 0.45 - 12	10.08	20.43	27,120.60	79.72	340.19	2.03	1.0	340.19

Fuente: Elaboración propia.

También presentamos algunos datos estadísticos que podemos obtener de los ensayos de las probetas:

Tabla N° VI.37. Resultados estadísticos (A2), a/c=0.45.

Tiempo de rotura:	a los 3 días	a los 7 días	a los 28 días
Cantidad de probetas:	3	3	6
f'c _{promedio} (kg/cm ²):	240.54	283.74	333.80
f'c _{máx} (kg/cm ²):	248.62	290.38	341.23
f'c _{mín} (kg/cm ²):	232.68	274.87	323.18
Desviación (D _s):	7.97	7.99	7.48
Coef. de Varia.:	3.31%	2.82%	2.24%

Fuente: Elaboración propia.

Análogamente hacemos los mis cálculos para las relaciones a/c de 0.55 y de 0.65:

Tabla N° VI.38. Resistencia de probetas (A2), a/c=0.55.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)	Altura H (cm)	Fuerza (kg-f)	Área (cm ²)	f'c (kg/cm ²)	H/D	Factor Correc.	f'c corregida (kg/cm ²)
A los 3 días	A2 - 0.55 - 1	10.07	20.78	16,278.70	79.68	204.29	2.06	1.0	204.29
	A2 - 0.55 - 2	10.06	20.85	15,628.00	79.49	196.62	2.07	1.0	196.62
	A2 - 0.55 - 3	10.06	20.75	15,923.00	79.45	200.43	2.06	1.0	200.43
A los 7 días	A2 - 0.55 - 4	10.08	20.70	18,368.80	79.72	230.41	2.05	1.0	230.41
	A2 - 0.55 - 5	10.07	20.70	18,411.00	79.56	231.40	2.06	1.0	231.40
	A2 - 0.55 - 6	10.05	20.80	18,145.40	79.37	228.63	2.07	1.0	228.63
A los 28 días	A2 - 0.55 - 7	10.00	20.83	20,909.00	78.46	266.49	2.08	1.0	266.49
	A2 - 0.55 - 8	10.00	20.85	19,894.90	78.46	253.56	2.09	1.0	253.56
	A2 - 0.55 - 9	9.99	20.80	20,321.20	78.38	259.26	2.08	1.0	259.26
	A2 - 0.55 - 10	10.08	20.70	21,095.20	79.72	264.61	2.05	1.0	264.61
	A2 - 0.55 - 11	10.10	20.75	20,553.00	80.12	256.53	2.05	1.0	256.53
	A2 - 0.55 - 12	10.08	20.83	20,584.00	79.72	258.20	2.07	1.0	258.20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.39. Resultados estadísticos (A2), a/c=0.55.

Tiempo de rotura:	a los 3 días	a los 7 días	a los 28 días
Cantidad de probetas:	3	3	6
f'c _{promedio} (kg/cm ²):	200.45	230.15	259.77
f'c _{máx} (kg/cm ²):	204.29	231.40	266.49
f'c _{min} (kg/cm ²):	196.62	228.63	253.56
Desviación (D _s):	3.84	1.40	4.90
Coef. de Varia.:	1.92%	0.61%	1.89%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.40. Resistencia de probetas (A2), a/c=0.65.

Rotura	Código	Diámetro D (cm)	Altura H (cm)	Fuerza (kg-f)	Área (cm ²)	f'c (kg/cm ²)	H/D	Factor Correc.	f'c corregida (kg/cm ²)
A los 3 días	A2 - 0.65 - 1	10.05	20.85	12,752.30	79.37	160.68	2.07	1.0	160.68
	A2 - 0.65 - 2	10.04	20.88	12,593.60	79.21	158.99	2.08	1.0	158.99
	A2 - 0.65 - 3	10.05	20.85	12,446.90	79.25	157.06	2.08	1.0	157.06

A los 7 días	A2 - 0.65 - 4	10.09	20.70	14,208.30	80.00	177.60	2.05	1.0	177.60
	A2 - 0.65 - 5	10.07	20.90	14,828.00	79.68	186.09	2.07	1.0	186.09
	A2 - 0.65 - 6	10.03	20.83	14,679.40	79.02	185.77	2.08	1.0	185.77
A los 28 días	A2 - 0.65 - 7	10.07	20.73	15,906.20	79.64	199.72	2.06	1.0	199.72
	A2 - 0.65 - 8	10.05	20.75	16,690.00	79.25	210.60	2.07	1.0	210.60
	A2 - 0.65 - 9	10.05	20.78	15,857.00	79.33	199.89	2.07	1.0	199.89
	A2 - 0.65 - 10	10.05	20.53	16,444.50	79.25	207.51	2.04	1.0	207.51
	A2 - 0.65 - 11	10.10	20.60	16,380.00	80.12	204.45	2.04	1.0	204.45
	A2 - 0.65 - 12	10.03	20.58	16,042.80	78.93	203.25	2.05	1.0	203.25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° VI.41. Resultados estadísticos (A2), $a/c = 0.65$.

Tiempo de rotura:	a los 3 días	a los 7 días	a los 28 días
Cantidad de probetas:	3	3	6
$f'_{c\text{promedio}}$ (kg/cm²):	158.91	183.15	204.24
$f'_{c\text{máx}}$ (kg/cm²):	160.68	186.09	210.60
$f'_{c\text{mín}}$ (kg/cm²):	157.06	177.60	199.72
Desviación (D_s):	1.81	4.81	4.28
Coef. de Varia.:	1.14%	2.63%	2.09%

Fuente: Elaboración propia.

6.6.4 Comparación de resultados $f'c$ vs Días

Por ultimo resumimos todos los resultados obtenidos para ver como varia a lo largo del tiempo (ensayos a los 3, 7 y 28 días).

Tabla N° VI.42. Resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días.

Diseño	$f'c$ promedio		
	A los 3 días	A los 7 días	A los 28 días
A0 - 0.45	228.48	268.99	393.55
A0 - 0.55	188.11	216.98	297.64
A0 - 0.65	131.85	172.86	221.81
A1 - 0.45	242.20	292.70	376.27
A1 - 0.55	196.73	225.70	287.78
A1 - 0.65	147.03	177.51	211.29
A2 - 0.45	240.54	283.74	333.80
A2 - 0.55	200.45	230.15	259.77
A2 - 0.65	158.91	183.15	204.24

A0 - 0.45	228.48	268.99	393.55
A1 - 0.45	242.20	292.70	376.27
A2 - 0.45	240.54	283.74	333.80
A0 - 0.55	188.11	216.98	297.64
A1 - 0.55	196.73	225.70	287.78
A2 - 0.55	200.45	230.15	259.77
A0 - 0.65	131.85	172.86	221.81
A1 - 0.65	147.03	177.51	211.29
A2 - 0.65	158.91	183.15	204.24

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente figura (obtenida de la Tabla N° VI.42) muestra la variación de la resistencia a los 3, 7 y 28 días para el diseño patrón (A0), dando mayor resistencia para la relación $a/c=0.45$.

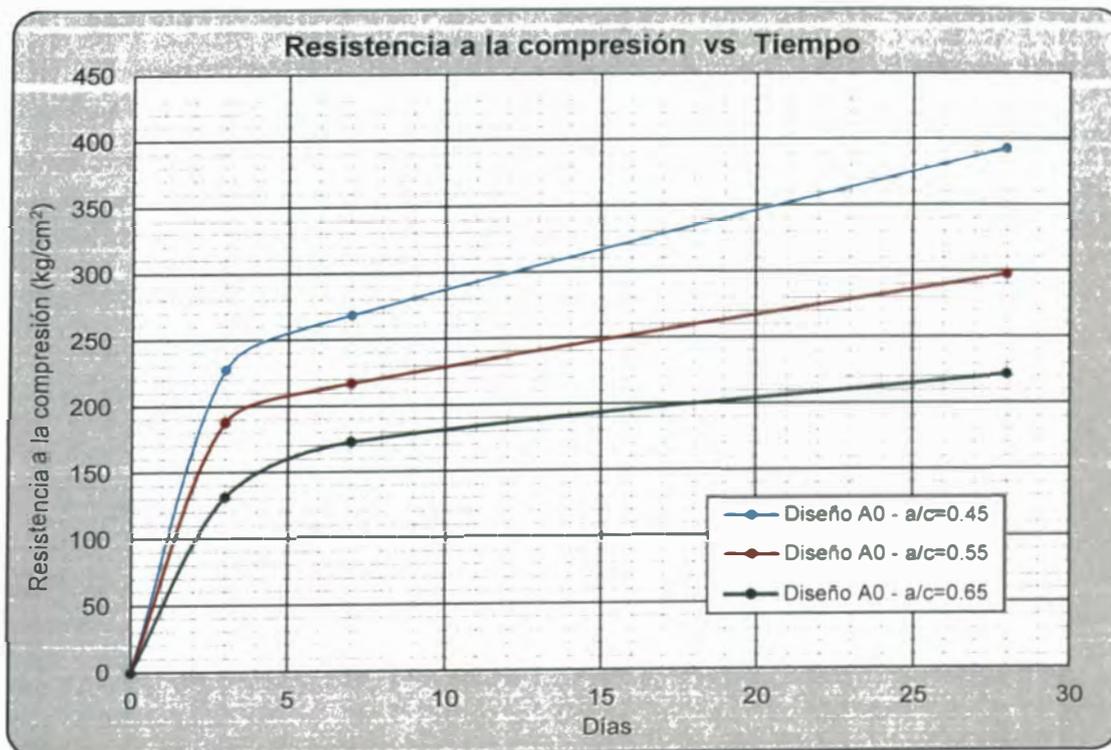


Figura N° VI.21. Variación de la resistencia para las diferentes relaciones a/c , diseño A0.

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que la figura anterior, se muestra la variación de la resistencia a los 3, 7 y 28 días para el diseño (A1).

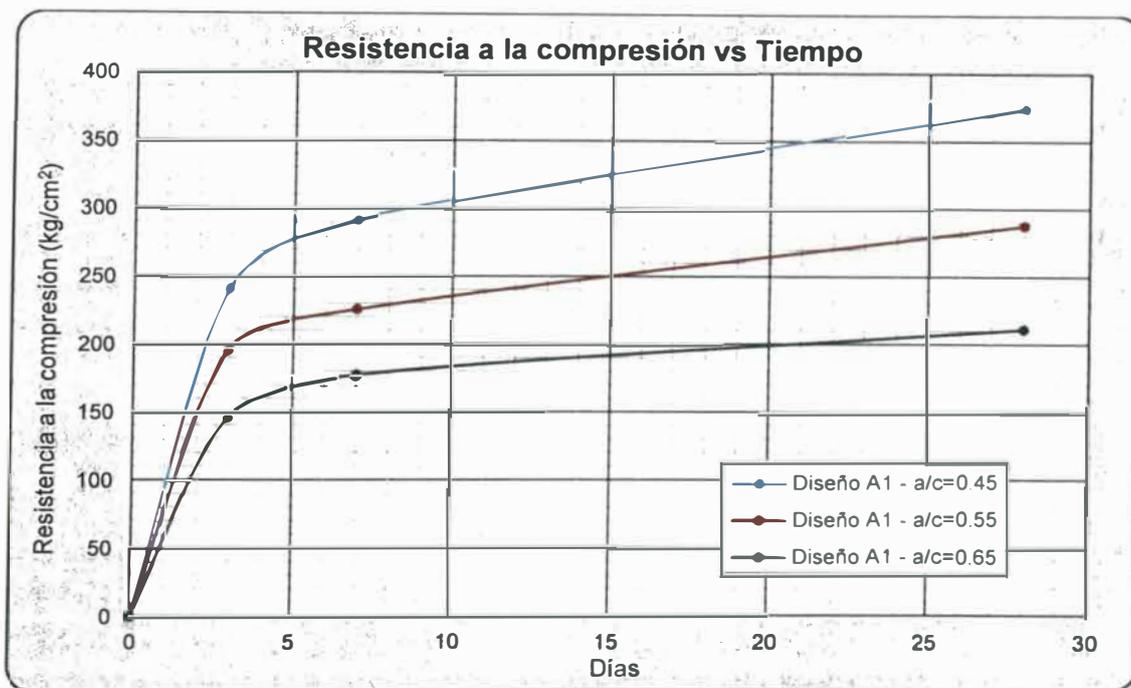


Figura N° VI.22. Variación de la resistencia para las diferentes relaciones a/c, diseño A1.

Fuente: Elaboración propia.

También se presenta la variación de la resistencia a los 3, 7 y 28 días para el diseño (A2).

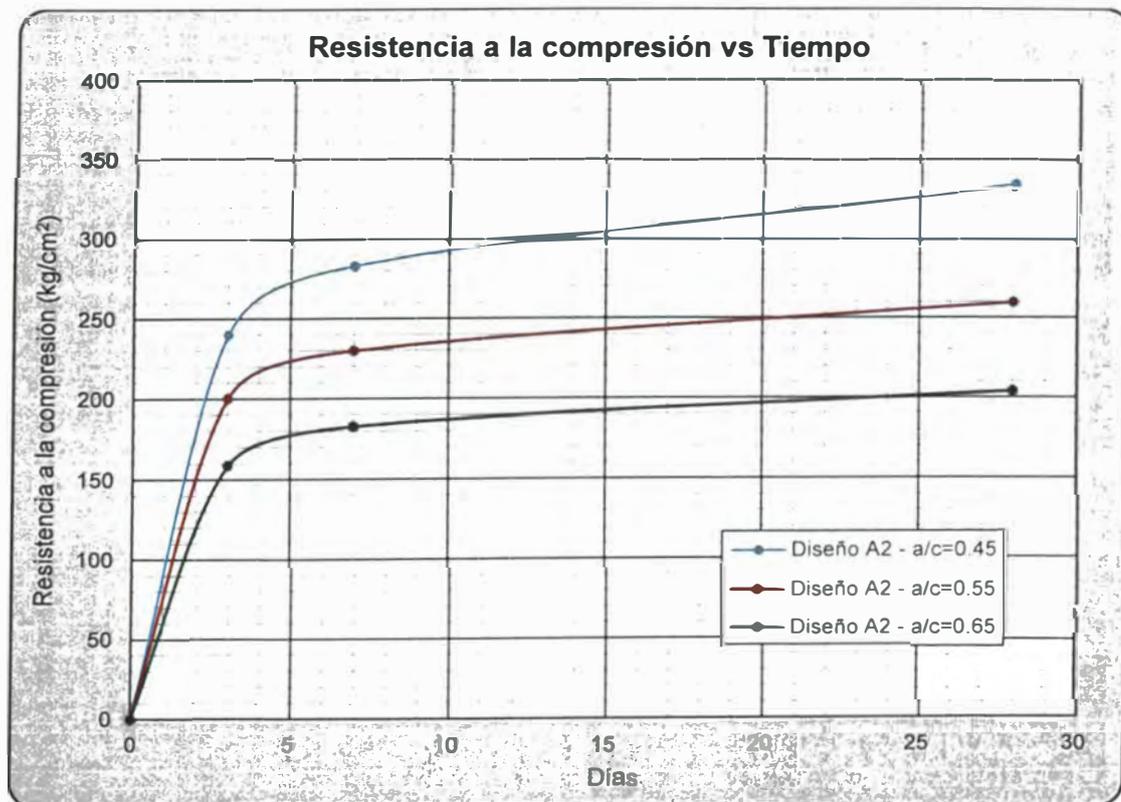


Figura N° VI.23. Variación de la resistencia para las diferentes relaciones a/c, diseño A2.

Fuente: Elaboración propia.

En los tres gráficos mostrados anteriormente se pueden observar las variaciones de las resistencias para los días ensayados, pero no se logra tener una buena apreciación en cuanto al incremento de la resistencia a los primeros días.

Ahora se presentan los siguientes gráficos los cuales mantienen la misma relación a/c y variando solo el contenido de aditivo. Acá es donde pueden apreciar que hay incremento en la resistencia a los primeros días.

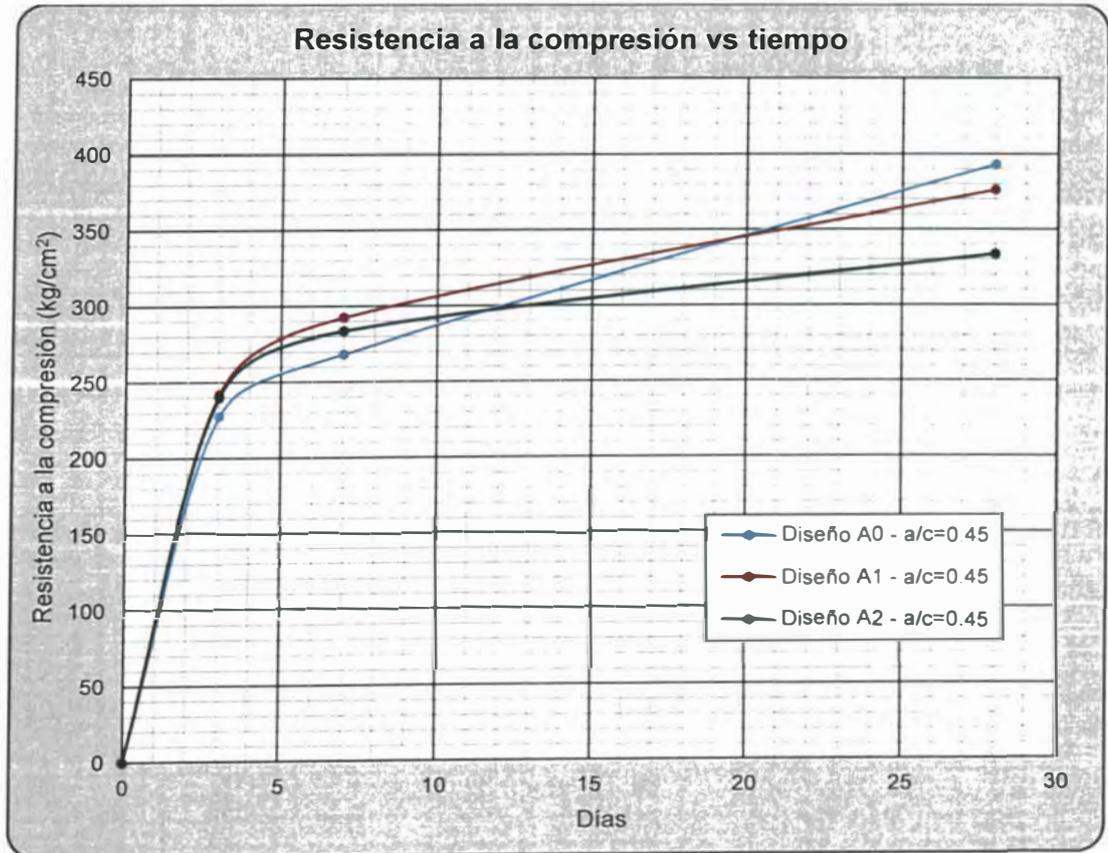


Figura N° VI.24. Variación de la resistencia a la compresión para los diferentes diseños, a/c = 0.45.

Fuente: Elaboración propia.

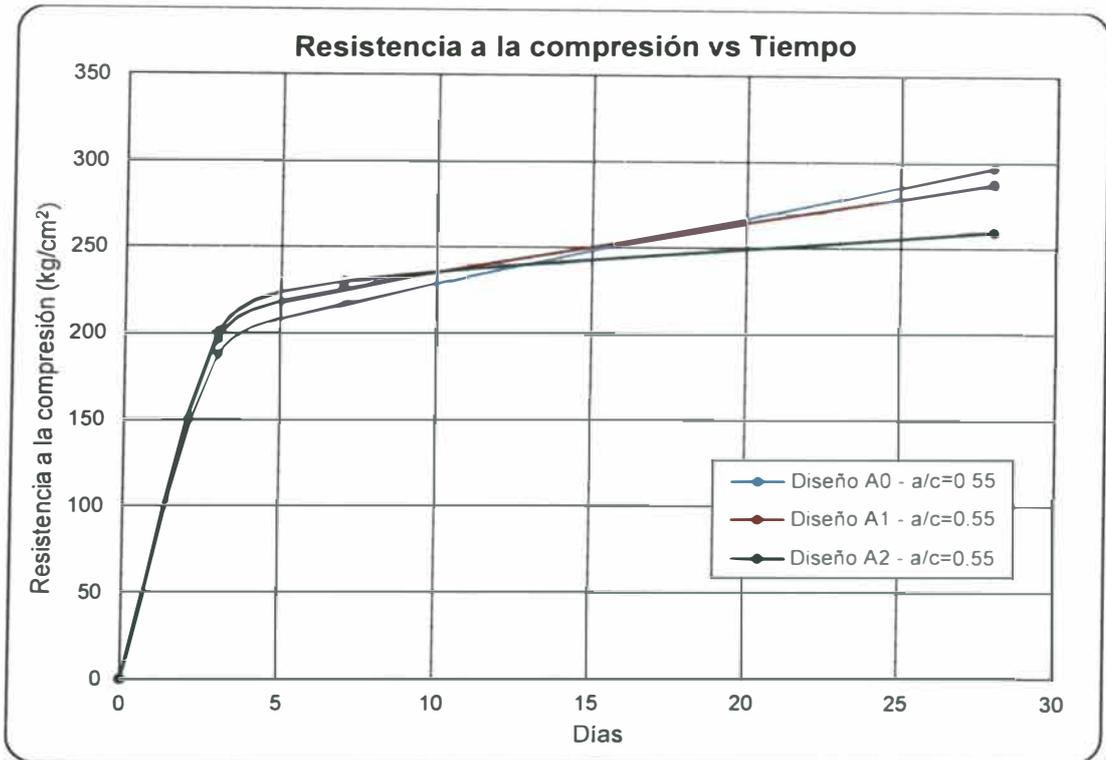


Figura N° VI.25. Variación de la resistencia a la compresión para los diferentes diseños, a/c = 0.55.

Fuente: Elaboración propia.

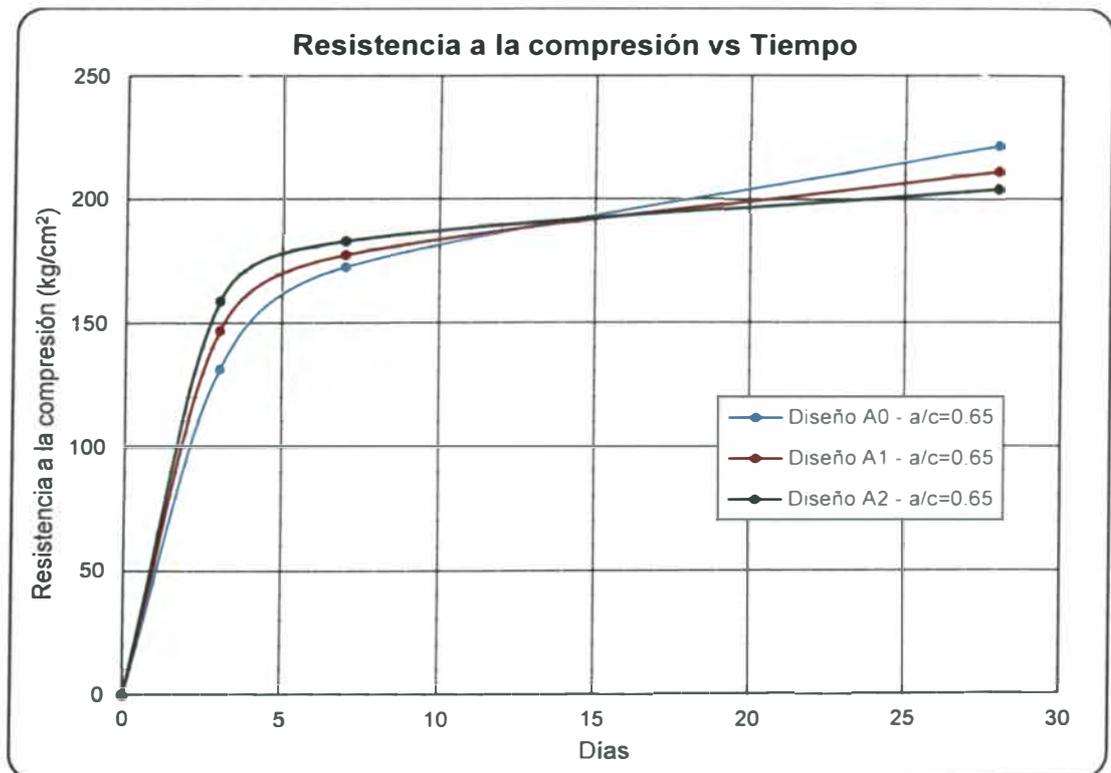


Figura N° VI.26. Variación de la resistencia a la compresión para los diferentes diseños, a/c = 0.65.

Fuente: Elaboración propia.

6.7 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

Así como en el ensayo por compresión, para este ensayo se utilizó el mismo equipo el cual determinó directamente el valor de la resistencia a la tracción para probetas de 0.10x0.20, pero se tuvo que las dimensiones de los testigos no eran exactamente iguales, por lo que se realizó la medición para cada uno de ellos. En este ensayo solo se está considerando diseños para la relación a/c de 0.55. A continuación, se muestra los resultados finales de la resistencia a la tracción:

6.7.1 Probetas de Diseño (A0), a/c=0.55

En este punto se muestran los resultados de las resistencias de las probetas elaboradas con el diseño patrón (A0) para la relación a/c = 0.55.

Tabla N° VI.43. Resistencia a la compresión diametral (A0), a/c=0.55.

Rotura	Código	D (cm)	H (cm)	Fuerza (kg-f)	$\pi \times D \times H$	Resistencia a la tracción f_t (kg/cm²)
A los 3 días	A0 - 0.55 - 1CD	9.99	20.60	7,665.8	646.52	23.71
	A0 - 0.55 - 2CD	10.01	20.65	8,282.3	649.55	25.50
	A0 - 0.55 - 3CD	9.97	20.65	7,114.2	646.95	21.99
A los 7 días	A0 - 0.55 - 4CD	10.08	20.78	9,665.8	657.56	29.40
	A0 - 0.55 - 5CD	10.08	20.70	8,851.9	655.51	27.01
	A0 - 0.55 - 6CD	10.08	20.70	8,991.5	655.19	27.45
A los 28 días	A0 - 0.55 - 7CD	10.05	20.55	11,836.8	648.83	36.49
	A0 - 0.55 - 8CD	10.07	20.53	11,498.8	649.33	35.42
	A0 - 0.55 - 9CD	10.06	20.58	11,254.9	650.26	34.62

Fuente: Elaboración propia.

También presentamos algunos datos estadísticos que podemos obtener de los ensayos de las probetas:

Tabla N° VI.44. Resultados estadísticos, diseño (A0).

Tiempo de rotura:	a los 3 días	a los 7 días	a los 28 días
Cantidad de probetas:	3	3	3
$f_{t\text{promedio}}$ (kg/cm²):	23.74	27.95	35.51
$f_{t\text{máx}}$ (kg/cm²):	25.50	29.40	36.49
$f_{t\text{mín}}$ (kg/cm²):	21.99	27.01	34.62
Desviación (D_s):	1.75	1.27	0.94

Coef. de Varia.:	7.39%	4.55%	2.64%
-------------------------	-------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia.

6.7.2 Probetas de Diseño (A1), $a/c=0.55$

En este punto se muestran los resultados de las resistencias de las probetas elaboradas con el diseño patrón (A1) para la relación $a/c = 0.55$.

Tabla N° VI.45. Resistencia a la compresión diametral (A1), $a/c=0.55$.

Rotura	Código	D (cm)	H (cm)	Fuerza (kg-f)	$\pi \times D \times H$	Resistencia a la tracción f_t (kg/cm²)
a los 3 días	A1 - 0.55 - 1CD	10.04	20.75	9,312.1	654.16	28.47
	A1 - 0.55 - 2CD	10.03	20.83	8,351.9	655.87	25.47
	A1 - 0.55 - 3CD	10.02	20.71	8,919.5	652.09	27.36
a los 7 días	A1 - 0.55 - 4CD	10.08	20.80	10,258.3	658.84	31.14
	A1 - 0.55 - 5CD	10.09	20.75	8,921.2	657.91	27.12
	A1 - 0.55 - 6CD	10.11	20.68	9,997.6	656.51	30.46
a los 28 días	A1 - 0.55 - 7CD	10.10	20.73	11,118.5	657.61	33.82
	A1 - 0.55 - 8CD	10.07	20.75	10,491.5	656.44	31.96
	A1 - 0.55 - 9CD	10.11	20.70	11,515.1	657.14	35.05

Fuente: Elaboración propia.

También presentamos algunos datos estadísticos que podemos obtener de los ensayos de las probetas:

Tabla N° VI.46. Resultados estadísticos, diseño (A1).

Tiempo de rotura:	a los 3 días	a los 7 días	a los 28 días
Cantidad de probetas:	3	3	3
f_t promedio (kg/cm²):	27.00	29.57	33.61
f_t máx (kg/cm²):	28.16	31.14	35.05
f_t mín (kg/cm²):	25.47	27.12	31.96
Desviación (D_s):	1.38	2.15	1.55
Coef. de Varia.:	5.13%	7.27%	4.62%

Fuente: Elaboración propia.

6.7.3 Probetas de Diseño (A2), $a/c=0.55$

En este punto se muestran los resultados de las resistencias de las probetas elaboradas con el diseño patrón (A1) para la relación $a/c = 0.55$.

Tabla N° VI.47. Resistencia a la compresión diametral (A2), $a/c=0.55$.

Rotura	Código	D (cm)	H (cm)	Fuerza (kg-f)	$\pi \times D \times H$	Resistencia a la tracción f_t (kg/cm ²)
a los 3 días	A2 - 0.55 - 1CD	10.05	20.65	8,214.2	651.82	25.20
	A2 - 0.55 - 2CD	10.09	20.70	8,023.1	655.84	24.47
	A2 - 0.55 - 3CD	10.05	20.65	8,921.2	652.14	27.36
a los 7 días	A2 - 0.55 - 4CD	10.05	20.70	9,424.5	653.56	28.84
	A2 - 0.55 - 5CD	10.09	20.65	9,165.9	654.25	28.02
	A2 - 0.55 - 6CD	10.07	20.55	9,812.1	649.79	30.20
a los 28 días	A2 - 0.55 - 7CD	10.08	20.60	10,682.8	652.02	32.77
	A2 - 0.55 - 8CD	10.00	20.65	10,112.9	648.74	31.18
	A2 - 0.55 - 9CD	9.99	20.65	9,919.5	648.09	30.61

Fuente: Elaboración propia.

Presentamos algunos datos estadísticos que podemos obtener de los ensayos de las probetas:

Tabla N° VI.48. Resultados estadísticos, diseño (A2).

Tiempo de rotura:	a los 3 días	a los 7 días	a los 28 días
Cantidad de probetas:	3	3	3
$f_{t\text{promedio}}$ (kg/cm ²):	25.78	29.02	31.52
$f_{t\text{máx}}$ (kg/cm ²):	27.36	30.20	32.77
$f_{t\text{mín}}$ (kg/cm ²):	24.77	28.02	30.61
Desviación (D_s):	1.39	1.10	1.12
Coef. de Varia.:	5.38%	3.80%	3.55%

Fuente: Elaboración propia.

6.7.4 Comparación de resultados f_c vs Días

Tabla N° VI.49. Resistencia a la compresión diametral a los 3, 7 y 28 días.

Diseño	f_c promedio
--------	----------------

	A los 3 días	A los 7 días	A los 28 días
A0 - 0.55	23.74	27.95	35.51
A1 - 0.55	27.00	29.57	33.61
A2 - 0.55	25.78	29.02	31.52

Fuente: Elaboración propia.

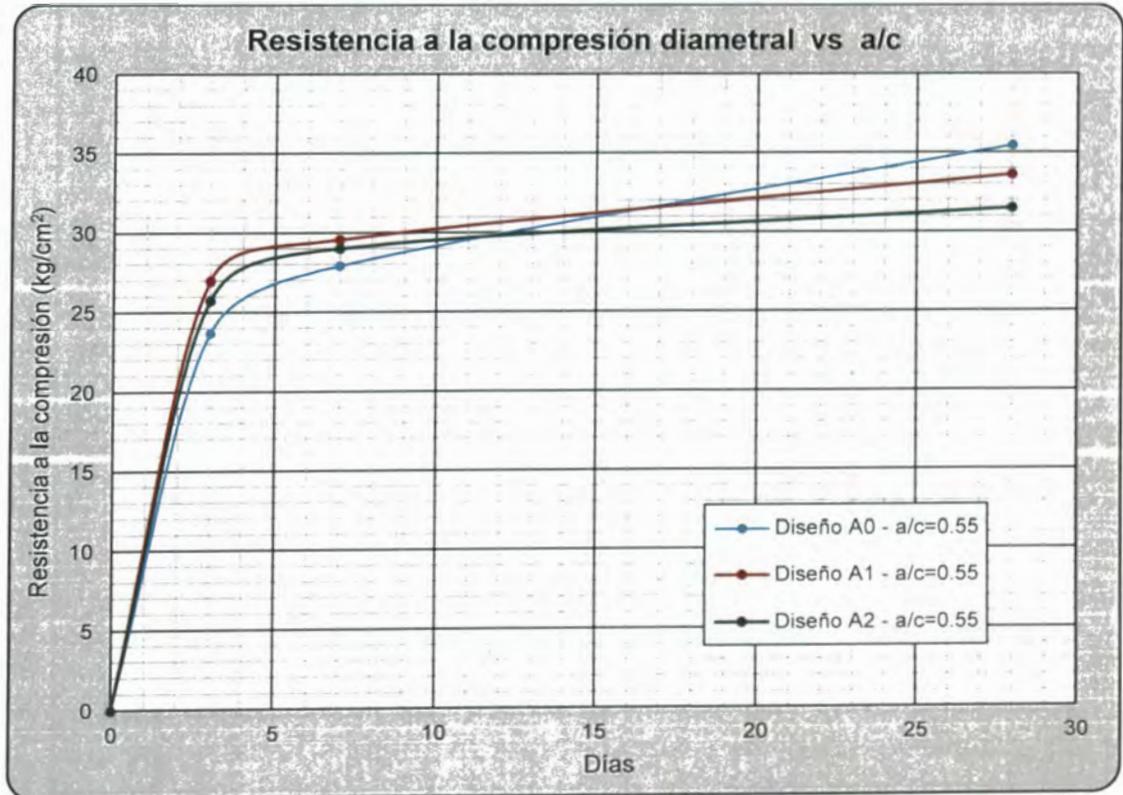


Figura N° VI.27. Variación de la resistencia a la compresión diametral para los diferentes diseños, $a/c = 0.55$.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, presentamos el siguiente cuadro resumiendo todos los ensayos realizados para los diferentes diseños

Tabla Nº VI.50. Resultado de los ensayos realizados.

Diseño de mezcla	a/c	Dosificación Obra (1 m ³)		Asentamiento (pulg)	Peso Unitario (kg/m ³)	Contenido de Aire (%)	Exudación (%)	Tiempo de Fraguado		Resistencia a Compresión			Compresión Diametral		
		Agua (kg)	Cemento (kg)					Inicial (hr:m:s)	Final (hr:m:s)	A los 3 días	A los 7 días	A los 28 días	A los 3 días	A los 7 días	A los 28 días
Diseño Patrón A0	0.45	267.6	638.0	3 1/4	2364.89	2.50%	0.460%	3:58:00	5:30:00	228.48	268.99	393.55	-	-	-
	0.55	232.2	464.0	4	2334.04	2.70%	0.678%	4:38:00	6:15:00	188.11	216.98	297.64	23.74	27.95	35.51
	0.65	215.4	369.0	4 1/4	2313.83	3.10%	0.916%	5:37:00	7:01:00	131.85	172.86	221.81	-	-	-
Diseño A1 (1.20%)	0.45	257.2	616.0	3 1/2	2378.72	2.30%	0.352%	3:27:00	4:52:00	242.20	292.70	376.27	-	-	-
	0.55	227.1	455.0	4	2344.68	2.70%	0.568%	4:06:00	5:44:00	196.73	225.70	287.78	27.00	29.57	33.61
	0.65	205.0	354.0	4 1/2	2309.57	2.80%	0.799%	4:28:00	6:25:00	147.03	177.51	211.29	-	-	-
Diseño A2 (2.40%)	0.45	223.2	544.0	3 1/4	2370.21	2.30%	0.336%	2:58:00	4:39:00	240.54	283.74	333.80	-	-	-
	0.55	200.6	409.0	3 3/4	2350.00	2.50%	0.520%	3:47:00	5:23:00	200.45	230.15	259.77	25.78	29.02	31.52
	0.65	178.6	315.0	4	2329.79	2.50%	0.702%	4:13:00	5:58:00	158.91	183.15	204.24	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Para el desarrollo de la presente investigación y superar los objetivos e hipótesis planteada, se elaboraron nueve (09) diseños de mezcla para el análisis de la variación de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido producidas por un aditivo que acelere la resistencia a la compresión, los cuales fueron ensayados a los 3, 7 y 28 días, para relaciones de a/c de 0.45, 0.55 y 0.65, probando diferentes dosificaciones de aditivo (0%, 1.20% y 2.40% en peso del cemento), además los diseños planteados se encontraron en un rango de 3" a 5" de asentamiento.

Se cumplieron con los objetivos y la hipótesis planteada en la presente investigación. El uso del aditivo logra acelerar las resistencias iniciales del concreto y permite un rápido fraguado favoreciendo principalmente su uso en climas fríos/heladas, ya que, evita el posible congelamiento de pequeñas cantidades agua en la mezcla de concreto. Así mismo, se logran diseños con menor cantidad de cemento y agua, cuyos resultados se pueden apreciar en el Capítulo VI: Análisis de resultados.

Entre las principales conclusiones, se tienen las siguientes:

- ✓ Respecto al asentamiento, no se observa una tendencia marcada cuando se varía el porcentaje de aditivo, manteniendo la relación a/c constante. Los asentamientos fueron mayores para la relación a/c = 0.65. Los asentamientos estuvieron en un rango de 3 1/4" a 4 1/2" lo cual permitieron obtener una trabajabilidad semejante en todos los diseños. Ver Figura N° VI.1.
- ✓ Respecto al Peso Unitario, se observa para diseños con la misma relación a/c utilizando aditivo acelerante de fragua y resistencia tienden a ser mayores respecto al diseño patrón. Los resultados de P.U. incrementan su valor en 0.58%, 0.68% y 0.69% para relaciones a/c de 0.45, 0.55 y 0.65 respectivamente. Los valores obtenidos por lo general fueron mayores para diseños con relación a/c = 0.45. Ver Tabla N° IV.1 y Figura N° VI.2.

- ✓ Respecto al porcentaje de Contenido de Aire, se observa para diseños de mayor relación a/c mayores valores del % Contenido de Aire. Así mismo, al utilizar el aditivo acelerante de fragua y de resistencia y manteniendo la relación a/c constante, se logra disminuir el Contenido de Aire respecto al diseño patrón en 8.00%, 7.41% y 19.35% para las relaciones a/c de 0.45, 0.55 y 0.65 respectivamente. Ver Figura N° VI.3.
- ✓ Respecto al porcentaje de exudación, se observa que tiende a ser mayor conforme aumente la relación a/c. Al usar aditivo acelerante de fragua y de resistencia se logra reducir la exudación respecto al diseño patrón. Ver Tabla N° VI.2 y Figura N° VI.4.
 - ✓ Para la relación a/c=0.45 al utilizar 2.40% de aditivo se reduce en 27.00% la exudación.
 - ✓ Para la relación a/c=0.55 al utilizar 2.40% de aditivo se reduce en 23.80% la exudación.
 - ✓ Para la relación a/c=0.65 al utilizar 2.40% de aditivo se reduce en 23.38% la exudación.
- ✓ El ensayo de tiempo de fragua resultó ser menor para aquellos diseños de mezcla donde se utilizó el aditivo acelerante de fragua y de resistencia. Ver Figura N° VI.9, Tabla N° VI.9, Figura N° VI.13, Tabla N° VI.16, Figura N° VI.17 y Tabla N° VI.23.
 - ✓ Para aquellos diseños donde la relación a/c fue de 0.45 se pudo reducir el fraguado inicial en 60 minutos y el fraguado final en 51 min.
 - ✓ Para aquellos diseños donde la relación a/c fue de 0.55 se pudo reducir el fraguado inicial en 51 minutos y el fraguado final en 52 min.
 - ✓ Para aquellos diseños donde la relación a/c fue de 0.65 se pudo reducir el fraguado inicial en 1 hora con 24 minutos y el fraguado final en 1 hora con 3 minutos.
- ✓ Respecto a la resistencia a la compresión, al hacer constante la relación a/c y variar el porcentaje de aditivo, se observa un incremento de la resistencia a los primeros días, además de una disminución de la resistencia final con respecto al del diseño patrón. Ver Tabla N° VI.42, Figura N° VI.21, Figura N° VI.22, Figura N° VI.23, Figura N° VI.24, Figura N° VI.25 y Figura N° VI.26.

- ✓ Para la relación a/c de 0.45, la resistencia a la compresión en los diferentes diseños se incrementó en 6.01% y 8.82% a los 3 y 7 días respectivamente, y a los 28 días se redujo hasta en un 15.18%.
 - ✓ Para la relación a/c de 0.55, la resistencia a la compresión en los diferentes diseños se incrementó en 6.56% y 6.07% a los 3 y 7 días respectivamente, y a los 28 días se redujo hasta en un 12.72 %.
 - ✓ Para la relación a/c de 0.65, la resistencia a la compresión en los diferentes diseños se incrementó en 20.53% y 5.95% a los 3 y 7 días respectivamente, y a los 28 días se redujo hasta en un 7.92 %.
-
- ✓ En el caso de la tracción por compresión diametral, se planteó realizar solo diseños para la relación a/c de 0.55. Utilizando el aditivo de acelerante de fragua y resistencia se obtuvieron valores mayores a los primeros días respecto al diseño patrón, a diferencia de la resistencia final, que resultó ser menor. Se llegó a incrementar la resistencia a los 3 y 7 días en 13.74% y 5.80% respectivamente, y a los 28 días se redujo hasta en un 11.23%. Ver Tabla N° VI.49 y Figura N° VI.27.
-
- ✓ Respecto a la cantidad de agua y cemento utilizados, se observa para diseños con a/c = 0.45 al emplear 2.40% de aditivo se llega a reducir un 16.61% de agua y un 14.73% de cemento; para diseños con a/c = 0.55 en un 13.60% de agua y en un 11.85% de cemento, y para diseños con a/c = 0.65 en un 17.10% de agua y en un 14.63% de cemento. Ver Tabla N° VI.50.
-
- ✓ Como se muestra en la Figura A. 44 el costo del concreto para diseños a/c = 0.65 es menor para las otras relaciones debido a la menor cantidad de cemento; el costo del aditivo no llega a ser significativo en comparación con el costo del cemento.

RECOMENDACIONES

- i) Se recomienda para futuras investigaciones, evaluar las resistencias a tiempos mayores que los 28 días para saber si sigue en proceso de aumento o si hay una posible tendencia a decrecer. Así mismo, elaborar más diseños de mezcla con otras proporciones de aditivo.
- ii) Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM), durante la temporada de verano, registrándose una temperatura ambiente de 27 - 28 C°, es decir, las propiedades se evaluaron en un clima cálido, por lo que se recomienda complementar con más estudios utilizando el mismo u otro tipo de aditivo acelerante y analizar su comportamiento en climas fríos, ya que, es ahí donde mayormente se utiliza.
- iii) Normalmente la trabajabilidad del concreto se juzga de manera visual (muy seco o muy plástico) y se mide mediante el ensayo de cono de Abraham. Hay casos en que se pueden presentar diferentes diseños de mezcla con el mismo valor de asentamiento, pero de diferentes calidades, para ello es recomendable buscar una proporción adecuada de arena y piedra que puedan ser utilizadas en el diseño de mezcla y que garantice una calidad óptima y de mayor resistencia. En la presente tesis se determinó esta proporción mediante el ensayo de máxima compactación de los agregados.
- iv) Si bien se analizaron las propiedades de la mezcla del concreto en estado fresco y endurecido, la función principal del aditivo es aumentar las resistencias iniciales, reducir el tiempo de fragua y la exudación. Así mismo, hay otros factores que también influyen en los resultados por lo que también deben ser considerados durante toda la investigación, como por ejemplo:
 - ✓ La relación a/c.
 - ✓ La cantidad de aditivo
 - ✓ Las características de los agregados, relación arena/piedra.
 - ✓ La temperatura del ambiente.
- v) La presente investigación no es un estudio definitivo ni pretende buscar resultados absolutos, se ha estudiado y buscado resultados que de alguna

manera permitan ser tomados como referencia para futuras investigaciones. Cualquier estudio similar que se realice o que ya se haya realizado, está sujeta a sus propios resultados y conclusiones.

- vi) Tener en cuenta las condiciones ambientales para la realización del ensayo de tiempo de fragua. Durante la elaboración de los diseños de mezcla en laboratorio, se registró una temperatura ambiente de 27 C°, lo cual de alguna manera influyó para que el ensayo se pueda culminar ese mismo día. Los ensayos empezaron a realizarse a partir de las 7:30 am y culminaron antes de las 5:00 pm.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACI. (Reapproved 2009). "211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete".
2. Castro Napaico, N. (2001). "Características del concreto con aditivos aceletante e incorporador de aire y C.P.T. I, fabricado en la ciudad de Huancayo". Tesis para optar el título profesional UNI-FIC. Lima.
3. Fernandez Canovas, M. (2007). "Hormigón". Octava Edición. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España.
4. FLACEMA. (s.f.). "Proceso de Fabricación del cemento". Recuperado el 10 de abril del 2019, de <http://www.flacema.org/el-cemento/proceso-de-fabricacion>.
5. Harmsen, T. (2002). "Diseño de estructuras de concreto armado". Tercera Edición. Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
6. Hermida, G. (2014). "Acelerante para el concreto lanzado". SIKA. Colombia.
7. Holmgren, A., Cavieres, G., & Cepeda, R. (2005). "La importancia de un correcto curado de las probetas de hormigón". Chile.
8. Huincho Salvatierra, E. (2011). "Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsilice y nanosilice con cemento portland tipo I". Tesis para optar el título profesional UNI-FIC. Lima.
9. INACAL. (s.f.). "Normas Técnicas Peruanas". Recuperado el 05 de abril del 2019, de https://tiendavirtual.inacal.gob.pe/0/home_tienda.aspx.
10. INACAL. (2008). "AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos)". NTP 400.011. Lima.
11. INACAL. (2008). "CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)". NTP 339.046. Lima.
12. INACAL. (2011). "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados". NTP 400.017. Lima.
13. INACAL. (2011). "CEMENTOS. Definiciones y nomenclatura". NTP 334.001. Lima.
14. INACAL. (2012). "CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica". NTP 339.084. Lima.

15. INACAL. (2013). " CONCRETO. Métodos de ensayo normalizados para exudación del concreto". NTP 339.077. Lima.
16. INACAL. (2013). "AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado". NTP 400.012. Lima.
17. INACAL. (2013). "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado". NTP 339.185. Lima.
18. INACAL. (2013). "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino". NTP 400.022. Lima.
19. INACAL. (2013). "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso". NTP 400.021. Lima.
20. INACAL. (2013). "CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio". NTP 339.183. Lima.
21. INACAL. (2014). "CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos". NTP 339.088. Lima.
22. INACAL. (2014). "CONCRETO. Definiciones y terminología relativas al concreto y agregados". NTP 339.047. Lima.
23. INACAL. (2015). "CEMENTOS. Aditivos químicos en pastas, morteros y concreto. Especificaciones". NTP 334.088. Lima.
24. INACAL. (2015). "CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. 4ª Edición". NTP 339.034. Lima.
25. INACAL. (2015). "CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland". NTP 339.035. Lima.
26. INACAL. (2015). "CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo". NTP 339.033. Lima.
27. INACAL. (2016). "CEMENTOS. Cemento Pórtland. Requisitos". NTP 334.009. Lima.
28. INACAL. (2017). "CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión". NTP 339.080. Lima.

29. INACAL. (2017). "CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración". NTP 339.082. Lima.
30. INACAL. (2018). "AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos". NTP 400.037. Lima.
31. MVCS. (2009). "Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.060 Concreto Armado". Lima.
32. Pasquel Carbajal, E. (1998). "Tópicos de tecnología del concreto en el Perú". Segunda Edición. Ediciones Colegio de Ingenieros del Perú. Lima.
33. Perú Construye. (2018). "Acelerantes para fraguado de concreto Aditivos con rapidez y dureza puesta a prueba". Perú Construye. Lima., Edición Número 53, Pag. 78-85.
34. Revista Costos. (2020). "Productos y soluciones para la construcción. Esbozando una ruta para la implementación BIM en el Perú". Revista Costos. Lima, Edición Número 9 Mayo.
35. Rivva Lopez, E. (1992). "Tecnología del concreto, Diseño de mezcla". Lima.
36. Rivva Lopez, E. (2000). "Naturaleza y materiales del concreto". Primera Edición. Capítulo Peruano ACI. Fondo Editorial ACI. Lima.
37. Sharma, R. C. (1973). "Evaluación de los resultados de los ensayos a compresión del hormigón de obra". Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España.
38. Torres Alayo, J. (2004). "Estudio de la influencia de aditivos acelerantes sobre las propiedades del concreto". Tesis para optar el título profesional UNI-FIC. Lima.
39. UNACEM. (s.f.). "Ficha Técnica Cemento Sol Tipo I". Recuperado el 06 de mayo del 2019, de https://www.unacem.com.pe/?page_id=109.

ANEXOS

ANEXO 01: ADITIVO



ACELERANTE PARA CONCRETO

ACCELGUARD 100

ADITIVO ACELERANTE DE FRAGUA Y RESISTENCIA SIN CLORURO

DESCRIPCIÓN

ACCELGUARD 100 es un aditivo líquido acelerante formulado sin cloruros, que permite acelerar el tiempo de fraguado e incrementar el desarrollo de resistencias iniciales, sin decremento de las finales a temperaturas bajas.

APLICACIONES PRINCIPALES

- Donde se requiera acelerar el tiempo de fraguado del concreto.
- Concreto especiales con altos contenidos de cemento donde se requiera un desarrollo rápido de resistencias a compresión y flexión.
- Concreto prefabricado y pretensados, donde no es posible la presencia de cloruros.
- Colocación del concreto en climas fríos.
- Concreto Armado.

BENEFICIOS

- Acelera el tiempo de fraguado de 1 a 5 horas, según la temperatura de ambiente y del concreto.
- Reduce los costos de construcción; se acelera el ciclo de colocación del concreto.
- Minimiza la exudación y segregación.
- Aumenta el desarrollo de resistencias a la compresión a todas las edades.
- Es compatible con todo tipo de aditivos plastificantes y súper plastificantes

INFORMACIÓN TÉCNICA

Apariencia	: Líquido
Color	: Incoloro
Densidad	: 1.480 kg/l

INSTRUCCIONES DE USO

ACCELGUARD 100 se presenta listo para su uso y debe incorporarse a la mezcla cuando se haya logrado alcanzar el fluidez deseada dentro del mezclador, ya sea en la planta o en la obra. No debe entrar en contacto directo con el cemento seco.

El incremento de resistencia a edad temprana y fraguado están en función a la cantidad usada del aditivo, característica del cemento y el diseño de mezcla elegido.

Química Suiza Industrial del Perú S.A.
T +51-1 710 4000 Anexos: 2421 / 1211
ventasconstruccion@qsindustrial.biz
ingenieria.pe@qsindustrial.biz
www.qsindustrial.biz

1

Hoja Técnica / JM
Versión 01-QSI
Enero 2016



ACELERANTE PARA CONCRETO

ACCELGUARD 100

ADITIVO ACELERANTE DE FRAGUA Y RESISTENCIA SIN CLORURO

ESPECIFICACIONES/ NORMAS

Esta formulado para cumplir con las especificaciones para aditivos ASTM C-494, Tipo C.

DOSIFICACIÓN

El ACCELGUARD 100 es usado a una dosificación 0.6 – 3.0% por peso del cemento. Se recomienda hacer ensayos previos para establecer la dosis según los requerimientos.

PRESENTACIÓN

- Cilindro 250 kg
- Balde 20 kg

PRECAUCIONES / RESTRICCIONES

- Se debe proteger el ACCELGUARD 100 contra el congelamiento. Nunca agite con aire.
- Los cambios en los tipos de cemento, agregados y temperatura modifican el desempeño de los aditivos en la mezcla de concreto, variando resultados en el concreto fresco y endurecido.
- Se debe consultar con nuestros Asesores Técnicos cada vez que se tenga dudas respecto al uso del producto.
- De esta manera, podrá definir la solución que ofrezca un mejor costo-beneficio a nuestro cliente.
- EL producto debe almacenarse en su envase original, bien cerrado, bajo techo, en un lugar fresco y seco.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Vida útil de Almacenamiento: 12 meses.

Química Suiza Industrial del Perú S.A.
T +51-1 710 4000 Anexos: 2421 / 1211
ventasconstruccion@qsindustrial.biz
ingenieria.pe@qsindustrial.biz
www.qsindustrial.biz

2

Hoja Técnica / JM
Versión 01-QSI
Enero 2016

ANEXO 02: PROCEDIMIENTO DE LOS ENSAYOS

1. GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO Y FINO

PROCEDIMIENTO:

- En primer lugar, para obtener una muestra representativa de agregado, arena o piedra, se procede a mezclar el agregado y seleccionarlo mediante la técnica del cuarteo. Se escogen los extremos del agregado cuarteado.
- Una vez obtenida una muestra representativa, se procede a secar el material al horno por 24 horas.
- Después de secado, se pesará por material aproximadamente: 10 kg de piedra y 500-600 gr de arena.
- Este material pesado se colocará en la máquina vibradora por 2 minutos para el agregado fino y 2.5 minutos para el agregado grueso. De acuerdo a la NTP 400.012 "un tiempo excesivo puede resultar en la degradación de la muestra". A continuación, se muestran las siguientes figuras de los equipos utilizados para el ensayo de granulometría:



Figura A. 1. Ensayo de Granulometría, agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.



Figura A. 2. Ensayo de Granulometría, agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

- Una vez realizado el tamizado en el equipo de granulometría, se procederá a pesar los materiales retenidos en cada malla y anotarlos de acuerdo al formato que se encuentra disponible en el LEM, tal como se muestra en las siguientes figuras:

1.0 AGREGADO GRUESO

Tamiz	Peso Ret (g)	% Retenido	% Ret Acumulado	% Pasa
3"				
2 1/2"				
2"				
1 1/2"				
1"	500	5,00	5,00	95,00
3/4"	2970	29,70	34,70	65,30
1/2"	4095	40,95	75,65	24,35
3/8"	1159	11,59	87,19	12,81
Nº 4	1252	12,52	99,71	0,29
FONDO	29	0,29	100,00	0
TOTAL	10000	100	100	0

Figura A. 3. Datos de la granulometría del agregado grueso obtenidos en el laboratorio.

Fuente: Elaboración propia.

2.0 AGREGADO FINO

Tamiz	Peso Ret (g)	% Retenido	% Ret Acumulado	% Pasa
3/8"				
Nº 4	11,0	1,97	1,97	98,03
Nº 8	68,2	11,37	13,34	86,66
Nº 16	130,9	21,80	35,14	64,86
Nº 30	137,2	22,86	58,00	42,00
Nº 50	111,7	18,62	76,62	23,38
Nº 100	62,1	10,35	86,97	13,03
FONDO	78,2	13,03	100,00	0
TOTAL	600 gr	100	100	0

Figura A. 4. Datos de la granulometría del agregado fino obtenidos en el laboratorio.

Fuente: Elaboración propia.

2. PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN, AGREGADO GRUESO

PROCEDIMIENTO:

- En primer lugar, tomar una muestra representativa mediante la técnica del cuarteo, para luego dejarlo remojar por 24 horas el agregado.
- Una vez pasada las 24 horas, dejar airear el material o secarlo con un trapo para que la muestra se encuentre en un estado saturado superficialmente seco (SSS).
- Luego, pesar aproximadamente 4 Kg de este material en estado (SSS).
- Pesar la muestra en la balanza hidrostática previamente tarada para obtener el peso de la muestra saturada en agua (peso aparente). A continuación, se visualiza el equipo utilizado para obtener este peso:



Figura A. 5. Balanza hidrostática para el cálculo del peso de la muestra saturada en agua.

Fuente: Elaboración propia.

- Para obtener el porcentaje de absorción, se deja secar la muestra en el horno por 24 horas para luego pesarlo.
- Con todos los datos obtenidos, se procede a calcular el Peso Específico y el Porcentaje de absorción del agregado grueso mediante la ayuda del formato que se encuentra disponible en el LEM, el cual se muestra a continuación:

AGREGADO GRUESO (Basado en la Norma Técnica: NTP 400.021)

Peso de la muestra secada al horno (A)	3943,7 gr
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (B)	4000 gr
Peso de la muestra saturada en agua + Peso de la canastilla	-
Peso de la canastilla 7cm	-
Peso de la muestra saturada en agua (C)	2513 gr
Peso específico de masa A/(B-C)	2,65
Peso específico de masa superficialmente seco B/(B-C)	2,69
Peso específico aparente A/(A-C)	2,76
Porcentaje de absorción (B-A)X100/A	1,428

Figura A. 6. Datos obtenidos en el laboratorio para el cálculo del Peso Específico y el porcentaje de absorción.

Fuente: Elaboración propia.

3. PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN, AGREGADO FINO PROCEDIMIENTO:

- En primer lugar, tomar una muestra representativa mediante la técnica del cuarteo, para luego dejarlo remojar por 24 horas el agregado.
- Luego de dejar sumergida la muestra, se procede llevarla al estado saturado superficialmente seco (SSS). Primero se procede a calentar la muestra, luego mediante la prueba del cono (desmoronamiento de la muestra) se corrobora si realmente está en el estado SSS.



Figura A. 7. Calentamiento de la muestra del agregado fino para determinar su Peso Específico.

Fuente: Elaboración propia.

- Una vez logrado el estado SSS del agregado fino, se procede a pesar 500 gr del material para luego llenarlo en un recipiente (picnómetro) con volumen conocido.
- Se llenará de agua el picnómetro, luego se procederá a sacudir con cuidado para que se mezcle bien con la arena y expulse el aire contenido en la muestra, en otras palabras, saturarlo completamente. En la siguiente figura se muestra el procedimiento descrito:



Figura A. 8. Expulsión del contenido de aire de la muestra del agregado fino en el picnómetro para determinar su Peso Específico.

Fuente: Elaboración propia.

- Dejar reposar por un tiempo, y que llene completamente de agua hasta la marca colocada en el picnómetro.
- Se pesará el picnómetro con arena (SSS) sumergida en agua.
- Luego se procederá a vaciar la arena en un recipiente sin perder nada del material dentro del balón.
- Por último, se dejará decantar la muestra y se retirará la mayor cantidad de agua antes de colocarlo en el horno. Una vez transcurrido 24 horas en el horno, se procede a pesar la muestra para el cálculo del % absorción.
- Con todos los datos obtenidos, se procede a calcular el Peso Específico y el Porcentaje de absorción del agregado fino mediante la ayuda del formato que se encuentra disponible en el LEM, el cual se muestra a continuación:

AGREGADO FINO (Basado en la Norma Técnica: NTP 400.022)

Peso de la arena superficialmente seca	500 gr
Peso de la arena superficialmente seca + peso del balón + peso del agua	1008,7 gr
Peso del balón	197,2 gr
Peso del agua (W)	311,5 gr
Peso de la arena seca al horno (A)	497,9 gr
Volumen del balón (V)	500 ml
Peso específico de masa $A/(V-W)$	2,64
Peso específico de masa superficialmente seco $500/(V-W)$	2,65
Peso específico aparente $A/(V-W)-(500-A)$	2,67
Porcentaje de absorción $(500-A) \times 100/A$	0,42

Figura A. 9. Resultados obtenidos para el cálculo del Peso Específico y el Porcentaje de Absorción.

Fuente: Elaboración propia.

4. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO PROCEDIMIENTO:

- En primer lugar, seleccionar una muestra representativa mediante la técnica del cuarteo, luego tomar una muestra considerable para que pueda ser vertida en el recipiente metálico de $1/3 \text{ pie}^3$, previo secado de la muestra durante de 24 horas. En la siguiente figura, se visualizar el cuarteo del agregado fino:



Figura A. 10. Cuarteo del agregado grueso para realizar el ensayo de Peso Unitario.

Fuente: Elaboración propia.

- En el caso del PUS se verterá el agregado desde una cierta altura, y por gravedad se dejará caer dentro del recipiente metálico hasta que esté completamente lleno, después se enrajará y se pesará.
- En el caso del PUC se verterá el agregado en el recipiente metálico, y se formarán 3 capas que se compactarán con 25 golpes cada una hasta que esté completamente lleno, después se enrajará y se pesará.



Figura A. 11. Ensayo de Peso Unitario del agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

5. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

PROCEDIMIENTO:

- En primer lugar, seleccionar una muestra representativa mediante la técnica del cuarteo, luego tomar una muestra considerable para que pueda ser vertida en el recipiente metálico de $1/10 \text{ pie}^3$, previo secado de la muestra durante de 24 horas. En la siguiente figura, se visualizar el cuarteo del agregado fino:



Figura A. 12. Cuarteo del agregado fino para realizar el ensayo de Peso Unitario.

Fuente: Elaboración propia.

- En el caso del PUS se verterá el agregado desde una cierta altura, y por gravedad se dejará caer dentro del recipiente metálico hasta que esté completamente lleno, después se enraza y se pesará.
- En el caso del PUC se verterá el agregado en el recipiente metálico, y se formarán 2 capas que se compactarán con 25 golpes cada una hasta que esté completamente lleno, después se enraza y se pesará. En la siguiente figura se visualiza el resultado final del peso unitario:



Figura A. 13. Ensayo de Peso Unitario del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

6. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO Y FINO

PROCEDIMIENTO:

- En primer lugar, tomar una muestra representativa mediante la técnica del cuarteo.
- Del material seleccionado se pesa aproximadamente 2 kg de agregado grueso y 500 gr de agregado fino para luego colocarlos en el horno durante 24 horas.
- Finalmente se pesa el material seco. El contenido de humedad se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Contenido de Humedad (\%)} = \frac{P_{\text{natural}} - P_{\text{seco al horno}}}{P_{\text{seco al horno}}} * 100$$

Dónde:

P_{natural} = Peso en estado natural (agregado fino o grueso).

$P_{\text{seco al horno}}$ = Peso de la muestra secado al horno (agregado fino o grueso).

7. MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO

PROCEDIMIENTO:

- Antes de iniciar el ensayo, se debe humedecer el equipo de cono de Abraham y las herramientas adicionales necesarias para poder realizar adecuadamente el ensayo. A continuación se muestra la siguiente figura donde se puede visualizar el equipo de cono de Abraham con los demás accesorios:



Figura A. 14. Equipo de Cono de Abraham y herramientas adicionales.

Fuente: Elaboración propia.

- Una vez preparada la mezcla de concreto, se procede a vaciarla en la carretilla y trasladarla al lugar del ensayo.
- Se debe verter la mezcla en el equipo de cono de Abraham formando tres capas que se compactarán con 25 golpes cada una hasta que esté completamente lleno y enrazado. Finalmente, con la ayuda de una wincha se procede a realizar la medición del asentamiento, tal como se muestra en la siguiente figura:



Figura A. 15. Ensayo de Cono de Abraham.
Fuente: Elaboración propia.



Figura A. 16. Medición del asentamiento.
Fuente: Elaboración propia.

8. PESO UNITARIO

PROCEDIMIENTO:

- Antes de iniciar el ensayo, se debe humedecer el recipiente y la varilla metálica correspondiente al ensayo para que la mezcla de concreto no se quede pegada en ellos. A continuación, se muestra las herramientas utilizadas en el ensayo:



Figura A. 17. Equipo para la realización del ensayo de Peso unitario.
Fuente: Elaboración propia.

- Una vez preparada la mezcla de concreto, llenar el recipiente metálico de volumen $1/3 \text{ pie}^3$ formando tres capas que se compactarán con 25 golpes cada una hasta que esté completamente lleno y enraizado. En la siguiente figura se puede apreciar el resultado final del procedimiento mencionado:



Figura A. 21. Elaboración de la mezcla de concreto.

Fuente: Elaboración propia.



Figura A. 22. Traslado de la mezcla al lugar del ensayo.

Fuente: Elaboración propia.

- Antes de iniciar el ensayo, se debe tener humedecido el recipiente del equipo de la olla de Washington, así como, de los siguientes implementos:
 - ✓ Varilla metálica lisa de 5/8" de diámetro y 60 cm de largo, con punta redondeada.
 - ✓ Martillo de goma.
 - ✓ Regla metálica.
 - ✓ Cuchara metálica para colocar la mezcla.

A continuación, se presenta el equipo con los accesorios necesarios para el ensayo:



Figura A. 23. Equipo Washington.

Fuente: Elaboración propia.



Figura A. 24. Elementos adicionales para el ensayo de contenido de aire.

Fuente: Elaboración propia.

- En el proceso de llenado se deberá colocar la muestra en tres capas distribuida en forma equitativa en todo el recipiente. En cada capa se debe varillar 25 veces en todo el espesor del recipiente, el mismo procedimiento se repetirá en cada capa. Al final de cada varillado, se debe dar unos golpes con el martillo de goma (5 golpes en cada extremo) a fin de poder acomodar los espacios vacíos dejado por el varillado. A continuación, se muestra el llenado y enrasado final del recipiente:



Figura A. 25. Muestra para el ensayo de contenido de aire.

Fuente: Elaboración propia.

- Una vez enrasado la superficie del recipiente, se procede a colocar la tapa de manera central tal que pueda cerrarse las grapas de la tapa al recipiente sin ninguna inclinación. Luego, ingresar agua por medio de las purgas de la tapa para evitar vacíos entre la superficie de la mezcla y la tapa del recipiente. Luego, bombear aire por medio de una abertura, tal que, la aguja del equipo indique cero para así poder realizar la medición. Luego, cerrar las llaves de purga de agua creando un sello hermético total. Finalmente, se libera la presión para poder dar la lectura del contenido de aire. A continuación, se muestra la siguiente figura durante el proceso del ensayo de contenido de aire:

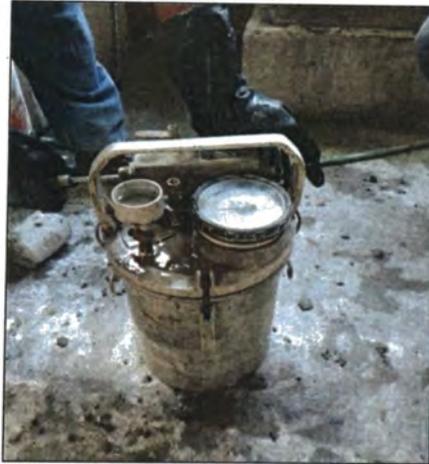


Figura A. 26. Ensayo de contenido de aire, equipo Washington.

Fuente: Elaboración propia.

10. EXUDACIÓN

PROCEDIMIENTO:

- Una vez preparada la mezcla de concreto, se procede a vaciarla en la carretilla y trasladarla al lugar del ensayo.
- Antes de iniciar el ensayo, se debe tener humedecido el recipiente metálico de volumen $1/3 \text{ pie}^3$, así como, de los siguientes implementos:
 - ✓ Varilla metálica lisa de $5/8''$ de diámetro y 60 cm de largo, con punta redondeada.
 - ✓ Martillo de goma.
 - ✓ Jeringa para la extracción del agua exudada.

A continuación, se presenta el equipo con los accesorios necesarios para el ensayo:



Figura A. 27. Equipo para la medición de la exudación.

Fuente: Elaboración propia.

- En el proceso de llenado se deberá colocar la muestra en tres capas distribuida en forma equitativa en todo el recipiente. En cada capa se debe varillar 25 veces en todo el espesor del recipiente, el mismo procedimiento se repetirá en cada capa. Al final de cada varillado, se debe dar unos golpes con el martillo de goma (5 golpes en cada lado aproximadamente) a fin de poder acomodar los espacios vacíos dejado por el varillado. A continuación, se muestra el llenado final del recipiente:



Figura A. 28. Muestra para la medición de la exudación.

Fuente: Elaboración propia.

- Una vez enrasado la superficie, se realiza la medición de la exudación del concreto, primero se realiza la extracción a intervalos de 10 minutos de iniciado el mezclado hasta los primeros 40 minutos, luego a intervalos de 30 minutos hasta que la exudación sea mínima. A continuación, se muestra la extracción de agua de la mezcla:



Figura A. 29. Ensayo exudación.

Fuente: Elaboración propia.

11. TIEMPO DE FRAGUADO

PROCEDIMIENTO:

- Recomendable iniciar el ensayo lo más temprano posible.
- Una vez preparada la mezcla de concreto, se procede a vaciarla en la carretilla y trasladarla al lugar del ensayo.
- Colocar la mezcla en la máquina tamizadora y separar el agregado grueso de la mezcla del concreto, obteniendo una pasta. Tener una cantidad apropiada de la pasta de cemento para realizar el ensayo.
- Antes de iniciar el ensayo, se debe engrasar el recipiente metálico donde se va a depositar la muestra para evitar que la mezcla se pegue al recipiente una vez terminado el ensayo.
- Vaciar la pasta de cemento al recipiente metálico, luego compactarlo con la varilla realizando 25 golpes distribuidas uniformemente y con la ayuda del martillo de goma acomodar los vacíos dejados por el varillado. A continuación, se muestra la siguiente figura con la pasta en el recipiente luego del procedimiento mencionado:



Figura A. 30. Muestra para el ensayo de tiempo de fragua.

Fuente: Elaboración propia.

- Luego, se procede llevar la pasta al equipo Penetrómetro y se dejar secar por 2 a 3 horas (aproximadamente) antes de realizar la primera penetración.
- Se procede a realizar las mediciones con el equipo y se anota el tiempo transcurrido. En la siguiente figura se muestra el Penetrómetro, así como, la realización de las penetraciones en una determinada muestra:

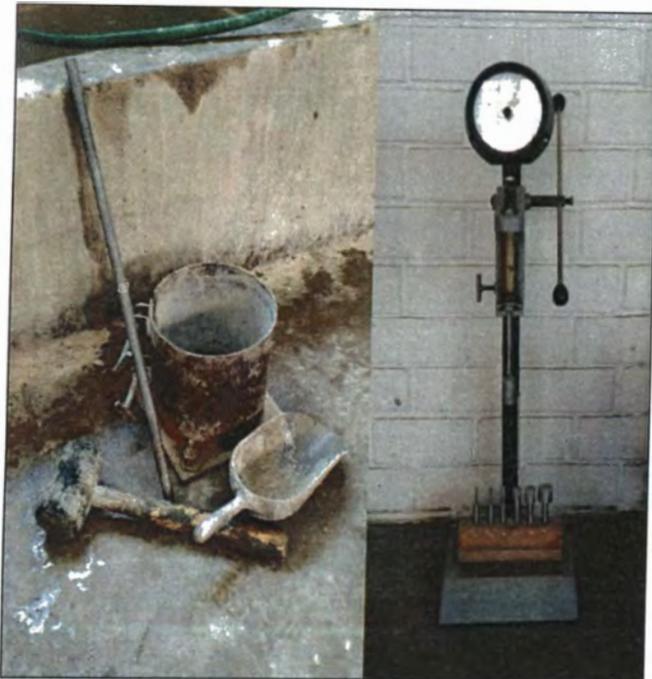


Figura A. 31. Equipo para el ensayo de tiempo de fragua,
Penetrómetro.

Fuente: Elaboración propia.

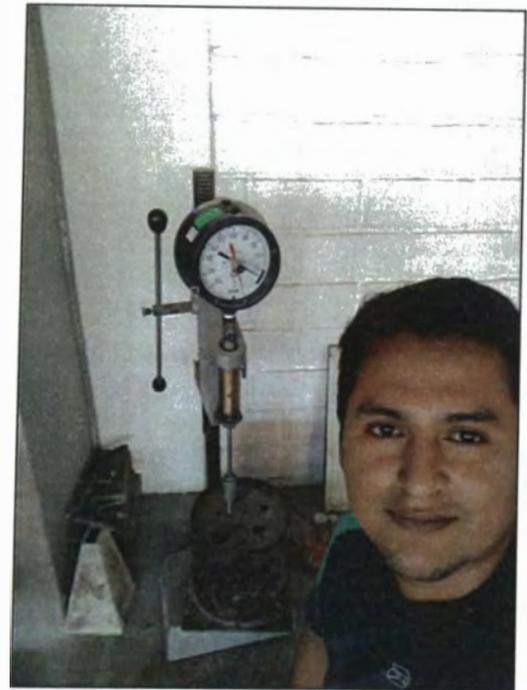


Figura A. 32. Ensayo de tiempo de fragua.

Fuente: Elaboración propia.

- Por último, tener en cuenta que el fraguado inicial se da a los 500 b/pulg² y el ensayo termina cuando se llega al fraguado final (4000 b/pulg²).

12. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

PROCEDIMIENTO:

- Una vez preparada la mezcla de concreto, se procede a vaciarla en la carretilla y trasladarla al lugar del ensayo.
- El proceso de elaboración de probetas consiste en el llenado de mezcla de concreto en el molde de dimensiones 0.10x0.20 m, se llenará en dos capas para luego compactarlo con la varilla realizando 25 golpes distribuidas uniformemente en cada capa y con la ayuda del martillo de goma acomodar los vacíos dejados por el varillado. En la siguiente imagen se aprecia la elaboración de las probetas:



Figura A. 33. Elaboración de probetas.

Fuente: Elaboración propia.



Figura A. 34. Probetas debidamente identificadas.

Fuente: Elaboración propia.

- Al día siguiente de la elaboración de las probetas, se procede a desencofrarlas y colocarlas en la poza de curado (agua con una cantidad determinada de cal). En la siguiente figura se aprecia el curado de las probetas:



Figura A. 35. Proceso de curado de las muestras de probetas

Fuente: Elaboración propia.

- Luego de curadas las probetas, se procede a secarlas y roturarlas de acuerdo a la edad de ensayo establecida. A continuación se muestra una galería de fotos concerniente al ensayo de compresión:

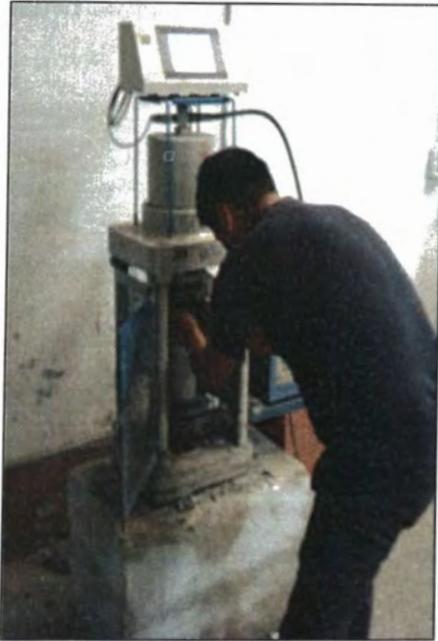


Figura A. 36. Colocación de probetas en el equipo de compresión.

Fuente: Elaboración propia.

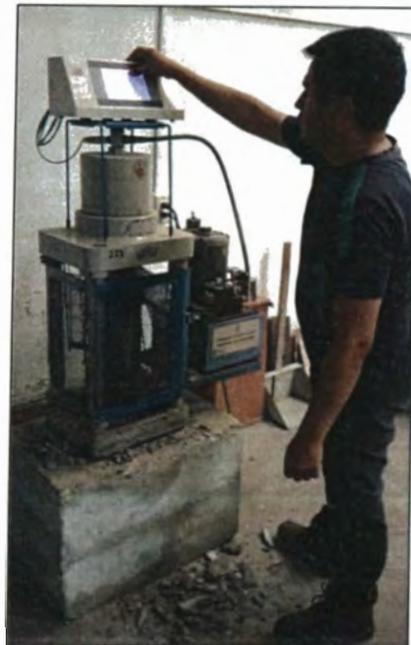


Figura A. 37. Ensayo de rotura de probetas.

Fuente: Elaboración propia.



Figura A. 38. Modo de rotura de un testigo.

Fuente: Elaboración propia.

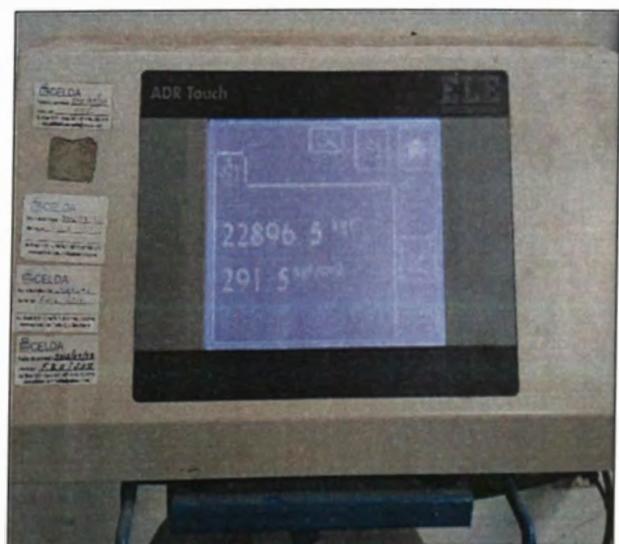


Figura A. 39. Resultado directo de la rotura del testigo en el equipo de compresión.

Fuente: Elaboración propia.

13. TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

PROCEDIMIENTO:

Al igual que el procedimiento e indicaciones del ensayo por compresión, en este ensayo se roturará los testigos colocados en forma horizontal, colocando en los extremos (arriba y abajo) tablas de madera tal que permitan graduar la uniformidad de la carga aplicada, así mismo, en la parte superior se colocará placas metálicas hasta verificar que la carga se pueda aplicar en su totalidad. A continuación se muestra algunas de fotos concerniente a este ensayo:



Figura A. 40. Colocación del testigo.

Fuente: Elaboración propia.



Figura A. 41. Ensayo por compresión diametral.

Fuente: Elaboración propia.



Figura A. 42. Rotura de un testigo en el ensayo por compresión diametral.

Fuente: Elaboración propia.



Figura A. 43. Resultado directo del ensayo.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 03: ANÁLISIS DE COSTOS

Con los materiales utilizados podemos realizar una estimación de costos para la realización de un metro cúbico de concreto en el laboratorio, incluyendo el traslado de los materiales hasta el LEM. A continuación se muestra las siguientes tablas con los análisis de costos respectivos:

Tabla A. 1. Análisis de costo (en laboratorio) para la relación a/c = 0.45.

Diseño	Material	Dosificación (kg)	P.E. (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Costo Unitario (S/)	Costo Parcial (S/)	TOTAL (S/)
Diseño Patrón A0	Cemento	638	3150	0.2025	24.0 /bl ⁽⁴⁾	360.28	426.63
	Agua	268	1000	0.2676	5.0 /m ³	1.34	
	Arena	680	2640	0.2574	45.0 /m ³	11.58	
	Piedra	659	2650	0.2487	54.0 /m ³	13.43	
	Flete (Hasta el LEM)							40.00
Diseño A1	Cemento	616	3150	0.1956	24.0 /bl	347.86	438.92
	Agua	257	1000	0.2572	5.0 /m ³	1.29	
	Arena	696	2640	0.2635	45.0 /m ³	11.86	
	Piedra	675	2650	0.2546	54.0 /m ³	13.75	
	Aditivo 1 (1.20%)	7.39	1376.33	0.0054	4.5 /lt ⁽⁵⁾	24.17	
	Flete (Hasta el LEM)							40.00
Diseño A2	Cemento	544	3150	0.1727	24.0 /bl	307.20	419.18
	Agua	223	1000	0.2232	5.0 /m ³	1.12	
	Arena	766	2640	0.2900	45.0 /m ³	13.05	
	Piedra	742	2650	0.2802	54.0 /m ³	15.13	
	Aditivo 2 (2.40%)	13.06	1376.33	0.0095	4.5 /lt	42.69	
	Flete (Hasta el LEM)							40.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla A. 2. Análisis de costo (en laboratorio) para la relación a/c = 0.55.

Diseño	Material	Dosificación (kg)	P.E. (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Costo Unitario (S/)	Costo Parcial (S/)	TOTAL (S/)
Diseño Patrón A0	Cemento	464	3150	0.1473	24.0 /bl	262.02	332.63
	Agua	232	1000	0.2322	5.0 /m ³	1.16	
	Arena	800	2640	0.3030	45.0 /m ³	13.64	
	Piedra	776	2650	0.2928	54.0 /m ³	15.81	

⁽⁴⁾ bl: bolsa de cemento de 42.5 kg.

⁽⁵⁾ lt: litro de aditivo acelerante de fragua y de resistencia sin cloruros, aproximadamente a S/ 4.50/lt.

	Flete (Hasta el LEM)					40.00	
Diseño A1	Cemento	455	3150	0.1444	24.0 /bl	256.94	345.57
	Agua	227	1000	0.2271	5.0 /m ³	1.14	
	Arena	805	2640	0.3050	45.0 /m ³	13.73	
	Piedra	781	2650	0.2947	54.0 /m ³	15.92	
	Aditivo 1 (1.20%)	5.46	1376.33	0.0040	4.5 /lt	17.85	
	Flete (Hasta el LEM)					40.00	
Diseño A2	Cemento	409	3150	0.1298	24.0 /bl	230.96	335.55
	Agua	201	1000	0.2006	5.0 /m ³	1.00	
	Arena	856	2640	0.3241	45.0 /m ³	14.58	
	Piedra	830	2650	0.3131	54.0 /m ³	16.91	
	Aditivo 2 (2.40%)	9.82	1376.33	0.0071	4.5 /lt	32.09	
	Flete (Hasta el LEM)					40.00	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla A. 3. Análisis de costo (en laboratorio) para la relación a/c = 0.65.

Diseño	Material	Dosificación (kg)	P.E. (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Costo Unitario (S/)	Costo Parcial (S/)	TOTAL (S/)
Diseño Patrón A0	Cemento	369	3150	0.1171	24.0 /bl	208.38	281.19
	Agua	215	1000	0.2154	5.0 /m ³	1.08	
	Arena	862	2640	0.3266	45.0 /m ³	14.70	
	Piedra	836	2650	0.3156	54.0 /m ³	17.04	
	Flete (Hasta el LEM)							40.00
Diseño A1	Cemento	354	3150	0.1124	24.0 /bl	199.91	287.15
	Agua	205	1000	0.2050	5.0 /m ³	1.02	
	Arena	878	2640	0.3327	45.0 /m ³	14.97	
	Piedra	852	2650	0.3215	54.0 /m ³	17.36	
	Aditivo 1 (1.20%)	4.25	1376.33	0.0031	4.5 /lt	13.89	
	Flete (Hasta el LEM)							40.00
Diseño A2	Cemento	315	3150	0.1000	24.0 /bl	177.88	277.60
	Agua	179	1000	0.1786	5.0 /m ³	0.89	
	Arena	927	2640	0.3510	45.0 /m ³	15.79	
	Piedra	899	2650	0.3391	54.0 /m ³	18.31	
	Aditivo 2 (2.40%)	7.56	1376.33	0.0055	4.5 /lt	24.72	
	Flete (Hasta el LEM)							40.00

Fuente: Elaboración Propia

También se muestra gráficamente el costo obtenido para los diferentes diseños.

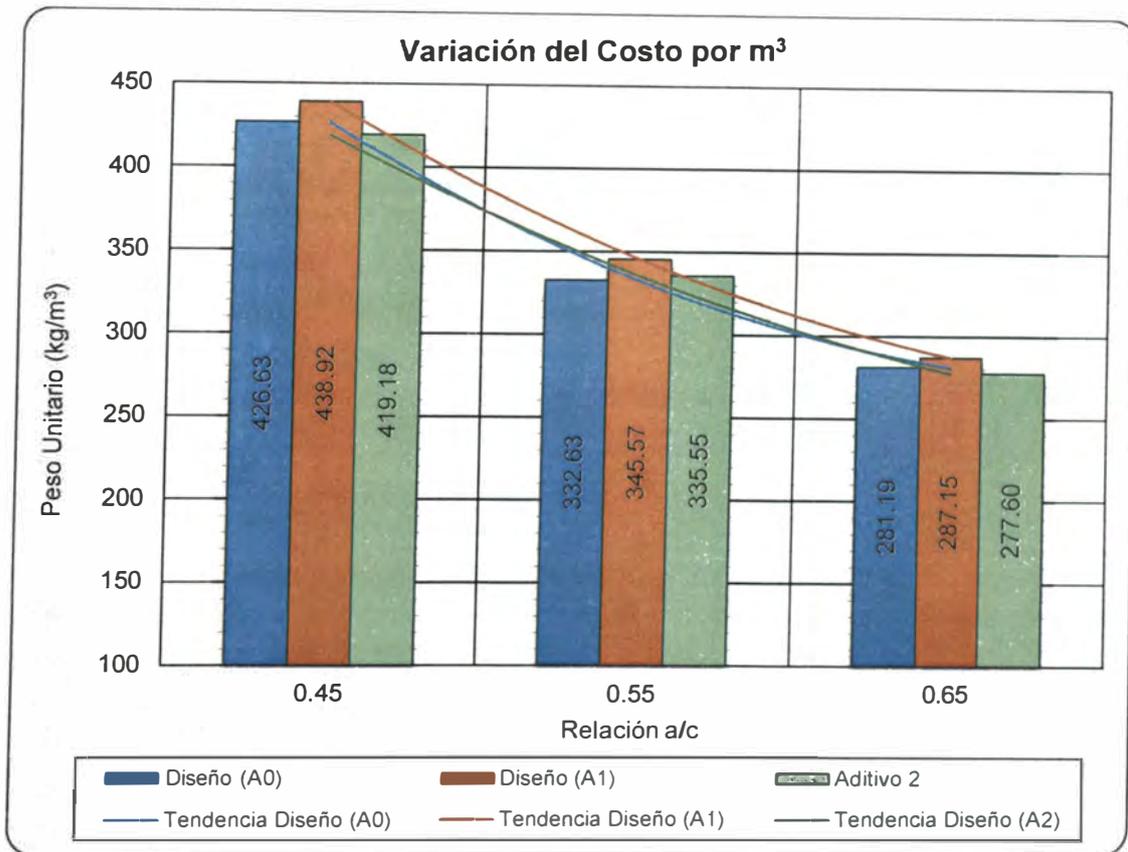


Figura A. 44. Variación del costo de concreto para los diferentes diseños realizados.

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en el gráfico, los costos son mayores para diseños con $a/c=0.45$. Así mismo, las propiedades obtuvieron mejor desempeño para las relaciones $a/c = 0.45$ y 0.55 .

ANEXO 04: FICHA TÉCNICA CEMENTO SOL TIPO I

CEMENTO SOL



Ficha Técnica

CEMENTO SOL

Descripción:

- Es un Cemento Pórtland Tipo I, obtenido de la molienda conjunta de Clinker y yeso.

Beneficios:

- El acelerado desarrollo de resistencias iniciales permite un menor tiempo en el desencofrado.
- Excelente desarrollo de resistencias en Shotcrete.
- Excelente desarrollo en resistencias a la compresión.
- Buena trabajabilidad.

Usos:

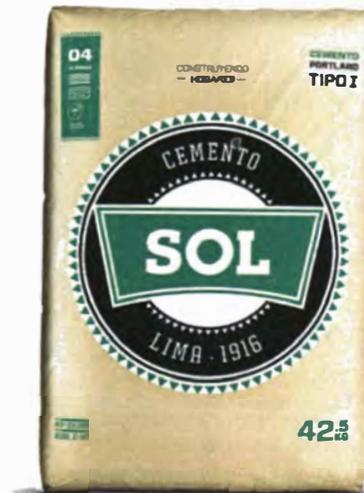
- Construcciones en general y de gran envergadura cuando no se requieren características especiales o no especifique otro tipo de cemento.
- Fabricación de concretos de mediana y alta resistencia a la compresión.
- Preparación de concretos para cimientos, sobrecimientos, zapatas, vigas, columnas y techado.
- Producción de prefabricados de concreto.
- Fabricación de bloques, tubos para acueducto y alcantarillado, terrazos y adoquines.
- Fabricación de morteros para el desarrollo de ladrillos, tarrajeos, enchapes de mayólicas y otros materiales.
- Shotcrete y grout.

Características Técnicas:

- Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP-334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.

Formato de Distribución:

- Bolsas de 42.5 Kg: 04 pliegos (03 de papel + 01 film plástico).
- Granel: A despacharse en camiones bombonas y Big Bags.



Recomendaciones

Dosificación:

- Se debe dosificar según la resistencia deseada.
- Respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- Realizar el curado con agua a fin de lograr un buen desarrollo de resistencia y acabado final.

Manipulación:

- Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- Se recomienda utilizar equipos de protección personal.
- Se debe evitar el contacto del cemento con la piel, los ojos y su inhalación.

Almacenamiento:

- Almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes y pisos. Protegerlas de las corrientes de aire húmedo.
- No apilar más de 10 bolsas para evitar su compactación.
- En caso de un almacenamiento prolongado, se recomienda cubrir los sacos con un cobertor de polietileno.

Requisitos mecánicos

Comparación resistencias NTP-334.009 / ASTM C-150 vs. Cemento Sol



Propiedades físicas y químicas

Parámetro	Unidad	Cemento Sol	Requisitos NTP-334.009 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	6.62	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	336	Mínimo 260
Densidad	g/ml	3.12	No específica
Resistencia a la Compresión			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	310	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ²	377	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ²	438	Mínimo 285*
Tiempo de Fraguado			
Fraguado Vicat inicial	min	127	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	305	Máximo 375
Composición Química			
MgO	%	2.93	Máximo 6.0
SO ₃	%	3.00	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	1.92	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.7	Máximo 1.5
Fases Mineralógicas			
C ₂ S	%	11.9	No específica
C ₃ S	%	54.2	No específica
C ₃ A	%	10.1	No específica
C ₄ AF	%	9.7	No específica

*Requisito opcional