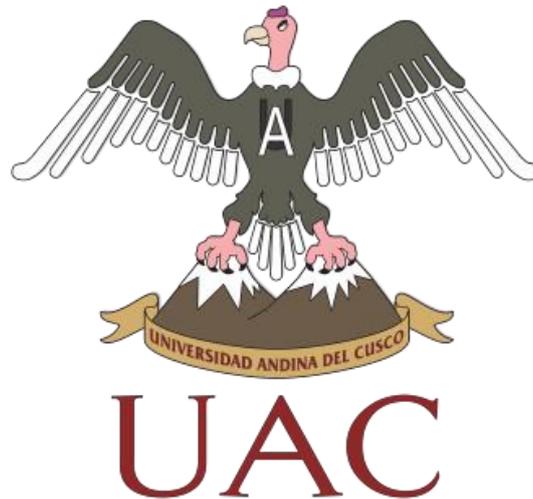




UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DEL
CONCRETO $f'c=210$ KG/CM² CON UN CONCRETO CON
SUPERPLASTIFICANTE DEL 0.6% - 1.5%, CUSCO 2018”

Presentado por:

Rosas Rozas, Roy Jonathan

Valer Vera, Jorge Jesús

Para optar al Título Profesional de Ingeniero
Civil

Asesor: Mg. Ing. Jorge Álvarez Espinoza

CUSCO – PERÚ

2021



Dedicatoria

A Dios, por guiarme, darme fuerzas para no desanimarme y enseñarme a encarar las adversidades sin perder la dignidad ni desfallecer en el intento.

Con todo amor a mi madre Leonor Rozas Montes, es a ti a quien debo toda la persona que soy. Gracias por tu guía, paciencia y ejemplo durante todos los años de mi vida.

Con aprecio y gratitud para mi padre Hugo Rosas Cisneros, por tus sabios consejos, guía y constante aliento para conseguir el éxito en mi vida académica.

Con mucho agradecimiento a mi hermano Anthony, por ser un ejemplo de hermano mayor, por cuidarme, darme buenos consejos y desarme siempre lo mejor.

Con todo mi cariño a mi hermano Romel, por acompañarme en esta etapa y estar siempre aportando la alegría y calor de hogar.

Roy Jonathan Rosas Rozas.

A Dios, por guiarme en cada paso que doy, brindándome salud, fuerza y la vida diaria para seguir cumpliendo mis sueños.

A mis padres, Jorge Valer Cusi y Ana María Vera Farfán, por brindarme siempre su apoyo y amor incondicional, por ser el máximo ejemplo en mi vida, por guiarme y saber corregir mis malos hábitos, porque gracias a ellos estoy logrando todos mis sueños en la vida y puedo ser una mejor persona.

A mis hermanas, Diana Valer Vera y Ana Paola Valer Vera, por su ayuda y consejos, por ser mi inspiración de vida, por brindarme siempre su energía positiva para no rendirme en cumplir mis metas y poder ser un ejemplo para ellas.

A mis tías por sus consejos para ser mejor persona y a mis primos por su amistad que sigan adelante y cumplan sus sueños.

A mis amigos que me acompañaron en todo mi trayecto de la universidad y apoyaron en esta tesis con sus buenos consejos, y a Roy Jonathan Rosas Rozas con quien logré alcanzar esta meta muy importante, a quien le deseo lo mejor en la vida.

Jorge Jesús Valer Vera.



Agradecimientos

Con mucho estima y cariño a nuestro querido asesor Mg. Ing. Jorge Álvarez Espinoza por su orientación, enseñanza, paciencia, apoyo y ayuda en la elaboración del trabajo de investigación con intención de aportar nuevos temas de investigación a la universidad.

A nuestro coasesor Lic. Fis. Rolando Lozano Cusi por su apoyo constante en temas de Física, las capacitaciones permanentes para creación y uso del viscosímetro rotacional adaptado para la presente investigación y por habilitarnos el laboratorio de física para los ensayos permanentes bajo su asesoría constante.

A Dios por darnos la vida, que con su bendición ha guiado nuestros pasos y la de nuestras familias, por toda la fuerza que nos dio y lecciones que aprendemos cada día, por permitirnos obtener este logro tan ansiado, por la salud y el cuidado que nos ha brindado.

A la Universidad Andina del Cusco por ser nuestra segunda casa de estudios y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por darnos la formación académica y profesional que hoy nos conlleva a este logro.

Jorge Jesús Valer Vera y Roy Jonathan Rosas Rozas



Resumen

Se realizó la presente investigación para analizar comparativamente las propiedades reológicas un concreto $f'c=210$ kg/cm² con otro concreto suministrado con aditivo superplastificante al 0.6%, 0.8%, 1% y 1.5%; los que fueron elaborados con cemento portland tipo IP de la marca Yura, agregados finos de las canteras de Cunyac y Huambutio, agregado grueso de ¾" de la cantera de Vicho y aditivo superplastificante Mapei-Dynamon SP1 proveniente de Italia. Utilizando el diseño de mezclas del método ACI, estudiado en estado fresco con las tres propiedades reológicas; estabilidad, movilidad y compactabilidad, las mismas que fueron evaluadas mediante 6 ensayos; exudación, segregación, viscosidad, cohesión, densidad y factor de compactación que fueron realizados para el concreto $f'c=210$ kg/cm² como para el concreto con aditivo superplastificante. Se aplicaron las Normas Técnicas Peruanas como es en el caso de la NTP 339.218, NTP 339.077, NTP 339.035 y NTP 339.046 para los ensayos de segregación, exudación, asentamiento y densidad respectivamente. La Norma British Standart 1881: parte 103 para el ensayo de facto de compactación y en el ensayo de viscosidad al no tener una normativa específica se evaluó mediante el autor Irving H. Shames del libro de mecánica de fluidos; asimismo para la fabricación de los aparatos que se usaron en los ensayos de segregación, exudación, densidad, factor de compactación y viscosidad fueron fabricados aplicándose las Normas Técnicas Peruanas y normas extranjeras mencionadas líneas arriba.

Palabras clave: reología, diseño de mezclas, estabilidad, movilidad, compactabilidad, concreto, agregados, aditivo superplastificante.



Abstract

The present investigation was carried out to comparatively analyze the rheological properties of a concrete $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$ with another concrete supplied with a 0.6%, 0.8%, 1% and 1.5% superplasticizer additive; those that were made with Portland type IP cement from the Yura brand, fine aggregates from the Cunyac and Huambutio quarries, $\frac{3}{4}$ " coarse aggregate from the Vicho quarry and Mapei-Dynamon SP1 superplasticizer additive from Italy. Using the design of mixtures of the ACI method, studied in fresh state with the three rheological properties; stability, mobility and compactability, which were evaluated through 6 tests; exudation, segregation, viscosity, cohesion, density and compaction factor that were made for concrete $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$ and for concrete with superplasticizer additive. The Peruvian Technical Standards were applied, such as in the case of NTP 339.218, NTP 339.077, NTP 339.035 and NTP 339.046 for the segregation, exudation, settlement and density tests respectively. The British Standard 1881: part 103 for the de facto compaction test and the viscosity test as it did not have a specific standard was evaluated by the author Irving H. Shames from the book of fluid mechanics; Also, for the manufacture of the devices that were used in the segregation, exudation, density, compaction factor and viscosity tests were manufactured applying the Peruvian Technical Standards and foreign standards mentioned above.

Keywords: rheology, mix design, stability, mobility, compactability, concrete, aggregates, superplasticizer additive.



Introducción

En la actualidad el concreto sigue siendo indispensable para el proceso constructivo ya sea en las diferentes ramas de la Ingeniería Civil debido a que es un material versátil para moldearse en diferentes usos ya que por sus propiedades físicas y mecánicas contribuyen para lograr un mejor material en la construcción, por consiguiente, sigue siendo estudiado para mejorar sus propiedades tanto en el estado fresco y endurecido.

Uno de estos estudios fue centrado en la reología del concreto el cual estudia el concreto en su estado fresco enfocándose en las propiedades reológicas de estabilidad, movilidad y compactabilidad, pero desafortunadamente dada la compleja composición de materiales del concreto este no permite establecer un método exacto para predecir su flujo. La caracterización reológica permite determinar cómo fluirá en distintas condiciones, durante la fabricación, transporte, almacenamiento y utilización.

La investigación se enfocó en el estudio de la reología del concreto con superplastificante al 0.6%, 0.8%, 1% y 1.5% en comparación de un concreto $f'c=210$ kg/cm² en función de las propiedades de estabilidad, movilidad y compactabilidad. En la tesis se empleó el agregado grueso de la cantera Vicho y agregado fino de las canteras de Cunyac y Huambutio, así como el aditivo superplastificante Mapei-Dynamon SP1 y cemento portland tipo IP marca Yura.



Índice

Dedicatoria	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Introducción	v
Capítulo I: Planteamiento del problema.....	1
1.1 Identificación del problema.....	1
1.1.1 Descripción del problema.....	1
1.1.2 Formulación interrogativa del problema	6
1.2 Justificación de la investigación.....	6
1.2.1 Justificación técnica.....	6
1.2.2 Justificación social.....	7
1.2.3 Justificación por viabilidad.....	7
1.2.4 Justificación por relevancia	7
1.3 Limitaciones de la investigación	8
1.3.1 Limitaciones de lugar	8
1.3.2 Limitaciones de diseño	8
1.3.3 Limitaciones de equipos	9
1.3.4 Limitaciones de ámbito de estudio	10
1.4 Objetivo de la investigación	10
1.4.1 Objetivo general	10
1.4.2 Objetivos específicos.....	10
Capítulo II: Marco teórico.....	12
2.1 Antecedentes de la tesis.....	12
2.1.1 Antecedentes a nivel nacional	12



2.1.2	Antecedentes a nivel internacional	15
2.2	Aspectos teóricos pertinentes	18
2.2.1	Concreto	18
2.2.2	Aditivos	56
2.2.3	Reología del concreto	63
2.2.4	Principales propiedades reológicas.....	72
2.3	Hipótesis	115
2.3.1	Hipótesis general	115
2.3.2	Sub hipótesis.....	115
2.4	Definición de variables.....	116
2.4.1	Variables independientes.....	116
2.4.2	Variables dependientes	116
2.4.3	Cuadro de operacionalización de variables	117
Capítulo III: Metodología.....		118
3.1	Metodología de la investigación.....	118
3.1.1	Enfoque de la investigación.....	118
3.1.2	Nivel o alcance de la investigación	118
3.1.3	Método de la investigación.....	118
3.2	Diseño de la investigación.....	119
3.2.1	Diseño metodológico.....	119
3.2.2	Diseño de ingeniería	120
3.3	Población y muestra	121
3.3.1	Población	121
3.3.2	Muestra	122
3.3.3	Criterios de inclusión.....	124
3.4	Instrumentos	125
3.4.1	Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos.....	125



3.4.2	Instrumentos de ingeniería	131
3.5	Procedimientos de recolección de datos	135
3.5.1	Muestreo del agregado grueso de la cantera Vicho (NTP 400.012).....	135
3.5.2	Análisis granulométrico del agregado grueso de la cantera Vicho (NTP 400.012) ...	136
3.5.3	Contenido de humedad del agregado grueso de la cantera Vicho (NTP 339.185).....	138
3.5.4	Peso específico y absorción del agregado grueso de la cantera Vicho (NTP 400.021).140	
3.5.5	Peso unitario del agregado grueso de la cantera Vicho (NTP 400.017).....	141
3.5.6	Resistencia a la abrasión del agregado grueso de la cantera Vicho (NTP 400.019 y ASTM C-131).....	143
3.5.7	Muestreo del agregado fino de la cantera Cunyac y Huambutio (NTP 400.012).....	146
3.5.8	Análisis granulométrico del agregado fino de la cantera Cunyac y Huambutio (NTP 400.012).....	147
3.5.9	Porcentaje de humedad del agregado fino de la cantera Cunyac y Huambutio (NTP 339.185).....	151
3.5.10	Peso específico seco y porcentaje de absorción del agregado fino de la cantera Cunyac y Huambutio (ASTM C128).....	153
3.5.11	Peso unitario del agregado fino de la cantera Cunyac y Huambutio (NTP 400.017). 154	
3.5.12	Ensayo de segregación del concreto (NTP 339.218).....	156
3.5.13	Ensayo de exudación del concreto (NTP 339.077)	161
3.5.14	Ensayo de cohesión del concreto (NTP 339.035)	177
3.5.15	Ensayo de viscosidad del concreto (Viscosímetro de cilindros concéntricos).....	181
3.5.16	Ensayo de densidad del concreto (NTP 339.046)	188
3.5.17	Ensayo de factor de compactación del concreto (BS 1881: Part 103)	193
3.6	Procedimiento de análisis de datos.....	200
3.6.1	Concreto $f'c = 210\text{kg/cm}^2$	200
3.6.2	Diseño de mezclas del concreto patrón según la norma ACI.....	216
3.6.3	Segregación del concreto utilizando la técnica de la columna	224
3.6.4	Exudación del concreto	229



3.6.5	Cohesión del concreto mediante ensayo de revenimiento.....	232
3.6.6	Viscosidad del concreto mediante cilindros concéntricos (Viscosímetro de Couette) 235	
3.6.7	Densidad del concreto mediante el ensayo de densidad aparente	239
3.6.8	Método para determinación del factor de compactación del concreto	242
	Capítulo IV: Resultados	247
4.1	Resultados para la propiedad de estabilidad del concreto	247
4.1.1	Resultados para la segregación del concreto	247
4.1.2	Resultados para la exudación del concreto.....	248
4.2	Resultados para la propiedad de movilidad del concreto	249
4.2.1	Resultados para la cohesión del concreto	249
4.2.2	Resultados para la viscosidad del concreto	250
4.3	Resultados para la propiedad de compactabilidad del concreto.....	252
4.3.1	Resultados para la densidad del concreto	252
4.3.2	Resultados para el factor de compactación	253
4.3.3	Cuadro comparativo de los resultados de las propiedades reológicas del concreto ...	254
	Capítulo V: Discusión	255
	Glosario	258
	Conclusiones	262
	Recomendaciones.....	264
	Referencias	267
	Anexos.....	270



Índice de tablas

Tabla 1:	Ubicación geográfica.....	4
Tabla 2:	El concreto como un sistema de 5 componentes	21
Tabla 3:	Tipos y clases de cemento en el Perú en base a las empresas de cementos	24
Tabla 4:	Límites permisibles para agua de mezcla y de curado según la norma ITINTEC	27
Tabla 5:	Rocas y constituyentes minerales en agregados.....	31
Tabla 6:	Tamices estándar ASTM C-33	37
Tabla 7:	Límites de granulometría según el A.S.T.M C-33.....	41
Tabla 8:	Cantidad mínima de muestra de agregado grueso.....	46
Tabla 9:	Peso mínimo de la muestra para gravedad específica de agregado grueso	50
Tabla 10:	Resistencia promedio a la compresión cuando existen datos para establecer la desviación estándar.....	51
Tabla 11:	Resistencia promedio a la compresión cuando no hay datos para establecer la desviación estándar.....	52
Tabla 12:	Cantidades aproximadas de agua de amasado y contenido de aire	53
Tabla 13:	Relación agua-cemento según resistencia a compresión.....	53
Tabla 14:	Volumen de agregado grueso compactado en seco para diversos módulos de finza de la arena.....	54
Tabla 15:	Asentamientos recomendados para diversos tipos de obra	55
Tabla 16:	Clasificación de los aditivos para el concreto	59
Tabla 17:	Datos característicos del aditivo Mapei Dynamon SPI.....	62
Tabla 18:	Representación esquemática de tres mezclas de concreto con diferente concentración de agregados.....	71
Tabla 19:	Intervalos de consistencia para diferentes tipos de concreto fresco, en los cuales, son aplicables los procedimientos de medición de uso común	89
Tabla 20:	Factores que influyen en la consistencia del concreto fresco.....	90
Tabla 21:	Límites de precisión	95
Tabla 22:	Capacidad de los recipientes de medida.....	106
Tabla 23:	Trabajabilidad, revenimiento y factor de compactación de concretos con tamaño máximo de agregado de 3/4" a 1 1/2" (19mm. a 38 mm)	111
Tabla 24:	Valores de trabajabilidad de asentamiento y factor de compactación en función a sus usos en la construcción.....	114
Tabla 25:	Valores de confianza para la tabla Z	122



Tabla 26:	Proporcionamiento del diseño de mezclas	124
Tabla 27:	Recolección de datos para el ensayo de segregación	125
Tabla 28:	Recolección de datos para el ensayo de exudación	126
Tabla 29:	Recolección de datos para el ensayo de cohesión	127
Tabla 30:	Recolección de datos para el ensayo de viscosidad	128
Tabla 31:	Recolección de datos para el ensayo de densidad	129
Tabla 32:	Recolección de datos para el ensayo de factor de compactación	130
Tabla 33:	Peso obtenido del cuarteo del agregado grueso de la cantera Vicho.....	136
Tabla 34:	Limites de aceptación para el agregado grueso	136
Tabla 35:	Recolección de pesos retenidos del agregado grueso de la cantera Vicho.....	138
Tabla 36:	Recolección de datos para el contenido de humedad del agregado grueso Vicho	139
Tabla 37:	Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo para absorción	140
Tabla 38:	Recolección de datos para análisis del peso específico y absorción del agregado grueso de Vicho	141
Tabla 39:	Recolección de datos para análisis del peso específico y absorción del agregado grueso de Vicho	142
Tabla 40:	Determinación del método a usar para el ensayo de abrasión.....	143
Tabla 41:	Recolección de datos para el análisis de resistencia a la abrasión del agregado grueso de Vicho	145
Tabla 42:	Peso obtenido del cuarteo del agregado fino de Cunyac y Huambutio.....	147
Tabla 43:	Limites de aceptación para el agregado fino	148
Tabla 44:	Datos del análisis granulométrico del agregado fino Cunyac	150
Tabla 45:	Datos del análisis granulométrico del agregado fino Huambutio	150
Tabla 46:	Toma de datos para el análisis de resultados del porcentaje de humedad del agregado fino de Cunyac y Huambutio	152
Tabla 47:	Recolección de datos para análisis de datos del peso específico y absorción del agregado fino de Cunyac y Huambutio	154
Tabla 48:	Recolección de datos para el análisis del peso específico y absorción del agregado fino de Cunyac y Huambutio.....	155
Tabla 49:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de segregación del concreto patrón $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	159
Tabla 50:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de segregación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.6% y 0.8%.....	160



Tabla 51:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de segregación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1% y 1.5%.....	160
Tabla 52:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón muestra 1 - 2.....	164
Tabla 53:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón muestra 3 - 6	165
Tabla 54:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón muestra 7 - 10.....	166
Tabla 55:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.6%, muestra 1 - 4	167
Tabla 56:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.6%, muestra 5 – 8.....	168
Tabla 57:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.6%, muestra 9 – 10	169
Tabla 58:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.8%, muestra 1 – 2	169
Tabla 59:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.8%, muestra 3 – 6.....	170
Tabla 60:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.8%, muestra 7 – 10	171
Tabla 61:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1%, muestra 1 – 4	172
Tabla 62:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1%, muestra 5 – 8.....	173
Tabla 63:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1%, muestra 9 – 10	174
Tabla 64:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1.5%, muestra 1 – 2	174
Tabla 65:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1.5%, muestra 3 – 6.....	175
Tabla 66:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1.5%, muestra 7 – 10	176
Tabla 67:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de revenimiento del concreto patrón $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	179



Tabla 68:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de revenimiento del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.6%.....	179
Tabla 69:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de revenimiento del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.8%.....	180
Tabla 70:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de revenimiento del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1%	180
Tabla 71:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de revenimiento del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1.5%	181
Tabla 72:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de viscosidad del concreto patrón $f'c=210$ kg/cm ² y con aditivo superplastificante al 0.6%	186
Tabla 73:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de viscosidad del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.8%, 1% y 1.5%	187
Tabla 74:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de densidad del concreto patrón $f'c=210$ kg/cm ² y con aditivo superplastificante al 0.6%	191
Tabla 75:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de densidad del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.8%, 1% y 1.5%	192
Tabla 76:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de densidad del concreto patrón $f'c=210$ kg/cm ² y con aditivo superplastificante al 0.6%	198
Tabla 77:	Hoja de recolección de datos para el ensayo de densidad del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.8%, 1% y 1.5%	199
Tabla 78:	Análisis granulométrico del agregado grueso de Vicho.....	200
Tabla 79:	Análisis granulométrico del agregado fino de Huambutio.....	206
Tabla 80:	Análisis granulométrico del agregado fino de Cunyac	208
Tabla 81:	Relación de pesos combinados de los agregados finos de Huambutio y Cunyac.	209
Tabla 82:	Análisis granulométrico del agregado fino combinado (Huambutio 50% + Cunyac 50%)	210
Tabla 83:	Características necesarias del agregado grueso para el diseño de mezclas	217
Tabla 84:	Características necesarias del agregado grueso para el diseño de mezclas	217
Tabla 85:	Cuadro de asentamientos recomendados para distintos tipos de estructuras	218
Tabla 86:	Selección del contenido de aire atrapado	219
Tabla 87:	Selección de volumen unitario de agua	220
Tabla 88:	Selección de relación agua/cemento.....	220
Tabla 89:	Selección del peso del agregado.....	221
Tabla 90:	Resultados del ensayo de segregación para el concreto $f'c=210$ kg/cm ²	225



Tabla 91: Resultados del ensayo de segregación para el concreto con aditivo superplastificante al 0.6%.....	225
Tabla 92: Resultados del ensayo de segregación para el concreto con aditivo superplastificante al 0.8%.....	226
Tabla 93: Resultados del ensayo de segregación para el concreto con aditivo superplastificante al 1 %	226
Tabla 94: Resultados del ensayo de segregación para el concreto con aditivo superplastificante al 1.5%	227
Tabla 95: Resultado de segregaciones promedio	227
Tabla 96: Rangos para el ensayo de exudación.....	229
Tabla 97: Resultados del ensayo de exudación para el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$	229
Tabla 98: Resultados del ensayo de exudación para el concreto con aditivo superplastificante al 0.6% y 0.8%	230
Tabla 99: Resultados del ensayo de exudación para el concreto con aditivo superplastificante al 1% y 1.5%.....	231
Tabla 100: Resultado de exudaciones promedio	232
Tabla 101: Resultados del ensayo de revenimiento para el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$	232
Tabla 102: Resultados del ensayo de revenimiento para el concreto con aditivo superplastificante al 0.6%.....	233
Tabla 103: Resultados del ensayo de revenimiento para el concreto con aditivo superplastificante al 0.8%.....	233
Tabla 104: Resultados del ensayo de revenimiento para el concreto con aditivo superplastificante al 1%	234
Tabla 105: Resultados del ensayo de revenimiento para el concreto con aditivo superplastificante al 1.5%	234
Tabla 106: Resultado de cohesiones promedio	235
Tabla 107: Rangos para el ensayo de viscosidad	236
Tabla 108: Resultados para el ensayo de viscosidad del concreto $f'c$ 210 kg/cm^2 y con aditivo superplastificante al 0.6%.....	237
Tabla 109: Resultados para el ensayo de viscosidad del concreto con aditivo superplastificante al 0.8%, 1% y 1.5%	238
Tabla 110: Resultado de viscosidades promedio.....	239
Tabla 111: Rangos para el ensayo de densidad	239
Tabla 112: Resultados del ensayo de densidad del concreto $f'c$ 210 kg/cm^2 y 0.6%	240



Tabla 113: Resultados del ensayo de densidad concreto con aditivo superplastificante al 0.8%, 1% y 1.5%.....	241
Tabla 114: Resultado de densidades promedio	242
Tabla 115: Rangos para el ensayo de factor de compactación	242
Tabla 116: Comparación de la trabajabilidad del concreto en función del revenimiento y el factor de compactación y los usos que se le da	243
Tabla 117: Resultados del ensayo de factor de compactación del concreto $f'c$ 210 kg/cm... ..	243
Tabla 118: Resultados del ensayo de factor de compactación concreto con aditivo superplastificante al 0.6% y 0.8%	244
Tabla 119: Resultados del ensayo de factor de compactación concreto con aditivo superplastificante al 1% y 1.5%.....	245
Tabla 120: Resultado de valores de factor de compactación promedio	246
Tabla 121: Resultados finales para la segregación del concreto	247
Tabla 122: Resultados finales para la exudación del concreto	248
Tabla 123: Resultados finales para el revenimiento del concreto	249
Tabla 124: Resultados finales para la viscosidad del concreto	250
Tabla 125: Resultados finales para la densidad del concreto	252
Tabla 126: Resultados finales para el factor de compactación del concreto	253



Índice de figuras

Figura 1:	Concreto convencional con presencia de cangrejas.	2
Figura 2:	Concreto aditivado con superplastificante con una mejor homogeneidad en la mezcla y posterior acabo.	3
Figura 3:	Mapa de localización del Cusco	4
Figura 4:	Mapa de ubicación de la ciudad del Cusco	5
Figura 5:	Concreto optimizado mediante a la ciencia reológica.....	19
Figura 6:	Esquema típico de la estructura del concreto endurecido	20
Figura 7:	Estados de saturación del agregado.....	33
Figura 8:	Curvas envolventes de la norma ASTM.....	40
Figura 9:	Perfil de velocidades de un fluido cuando se tiene un plato fijo (abajo) y una superficie móvil (arriba), modelo de placas paralelas	65
Figura 10:	Modelo de Bingham, grafica de la ecuación y modelo reológico	66
Figura 11:	Gráfica de la ecuación de Herschel Bulkey y graficas características para diferentes tipos de concretos	67
Figura 12:	Efectos sobre los parámetros reológicos del incremento en el contenido de agua, superfluidificante y aire intencionalmente incorporado	68
Figura 13:	Diagramas reológicos característicos de un fluido newtoniano y de un fluido de Bingham	69
Figura 14:	Segregación del concreto.....	73
Figura 15:	Detalle del molde tipo columna.....	77
Figura 16:	Detalle de la placa colectora.....	77
Figura 17:	Exudación del concreto	80
Figura 18:	Esquema de la reducción del volumen manifestado por el concreto debido al fenómeno de la exudación	81
Figura 19:	Representación esquemática de tres mezclas de concreto convencional con el mismo revenimiento con diferente cohesividad	88
Figura 20:	Representación esquemática de la prueba de revenimiento en mezclas de concreto fluido.....	88
Figura 21:	Formas que adopta la mezcla en la prueba de revenimiento	90
Figura 22:	Proceso del ensayo de revenimiento	92
Figura 23:	Curvas de flujo y viscosidad de los fluidos newtonianos.....	96
Figura 24:	Curvas de flujo y viscosidad para el modelo reológico de Bingham	97



Figura 25: Curvas de flujo y viscosidad de los distintos tipos de comportamiento reológico	98
Figura 26: Visualización del comportamiento tixotrópico de materiales cementosos	99
Figura 27: Dimensiones del viscosímetro de Couette	100
Figura 28: Corte horizontal del viscosímetro de Couette	101
Figura 29: Diagrama esquemático que ilustra el viscosímetro de cilindros concéntricos	102
Figura 30: Aparatos e instrumentos para la elaboración del factor de compactación	110
Figura 31: Características del equipo para medir factor de compactación	114
Figura 32: Recipiente cilindro	131
Figura 33: Molde tipo columna	131
Figura 34: Jeringa	132
Figura 35: Probeta de 1000ml	132
Figura 36: Placa colectora	132
Figura 37: Cono de Abrams	133
Figura 38: Recipiente de medida	133
Figura 39: Sensor rotacional e interfaz	133
Figura 40: Viscosímetro de cilindros concéntricos	134
Figura 41: Aparato de factor de compactación	134
Figura 42: Cuarteo manual del agregado grueso de Vicho	135
Figura 43: Proceso de tamizado con ayuda de un tamizador eléctrico	137
Figura 44: Tamizador eléctrico	137
Figura 45: Proceso de obtención de cada peso retenido por tamiz	138
Figura 46: Ingreso del agregado grueso de Vicho al horno eléctrico	139
Figura 47: Lavado y puesta en horno del agregado grueso de Vicho	144
Figura 48: Proceso de preparación de la máquina de los Ángeles previo al ensayo	144
Figura 49: Tamizado y registro del peso del agregado grueso molido en la máquina de los Ángeles	145
Figura 50: Mezcla uniforme del agregado fino de la cantera de Cunyac y Huambutio	146
Figura 51: Cuarteo del agregado fino de la cantera de Cunyac y Huambutio	147
Figura 52: Proceso de tamizado de los agregados fino de la cantera de Cunyac y Huambutio	148
Figura 53: Registro de pesos retenido por cada tamiz del agregado fino de Cunyac	149
Figura 54: Proceso de tamizado y registro de pesos de material retenido en cada tamiz del agregado fino de la cantera Huambutio	149
Figura 55: Muestras del peso retenido por tamiz	150



Figura 56: Registro del peso de la muestra en estado natural del agregado fino de la cantera de Cunyac y Huambutio	151
Figura 57: Secado de la muestra en el horno del agregado fino de la cantera de Cunyac y Huambutio	152
Figura 58: Muestra totalmente seca del agregado fino	152
Figura 59: Preparación de la mezcla y armado del molde tipo columna	156
Figura 60: Llenado del molde tipo columna	157
Figura 61: Enrasado y periodo de reposo de la mezcla de concreto en el molde tipo columna	157
Figura 62: Recolección de la mezcla de concreto del molde tipo columna tanto de la parte superior e inferior	158
Figura 63: Proceso del lavado del concreto de la parte inferior y superior	158
Figura 64: Proceso del secado del concreto utilizando de un paño absorbente	159
Figura 65: Registro del peso inferior y superior seco	159
Figura 66: Registrado de la altura límite del recipiente de exudación.....	161
Figura 67: Proceso de vertido y apisonado de la mezcla de concreto	162
Figura 68: Registro del peso del recipiente lleno con la mezcla de concreto	162
Figura 69: Colocación y almacenamiento del recipiente de exudación.....	163
Figura 70: Extracción del agua exudada en cada intervalo de tiempo.....	163
Figura 71: Inclinación del recipiente antes de la extracción del agua	163
Figura 72: Registro de la cantidad de agua exudada.....	164
Figura 73: Nivelado e instalación del Cono de Abrams	177
Figura 74: Proceso de vertido del concreto en tres capas en el cono de Abrams	178
Figura 75: Retiro del cono de Abrams en forma perpendicular.....	178
Figura 76: Registro en pulgadas del slump obtenido de la muestra de concreto	178
Figura 77: Proceso de obtención de la mezcla de concreto a ensayar	182
Figura 78: Instalación y armado del viscosímetro	182
Figura 79: Vertido del concreto en el viscosímetro	183
Figura 80: Obtención de gradiente de velocidades para hallar la viscosidad del concreto....	183
Figura 81: Mediciones con distintos pesos para el ensayo de viscosidad.....	184
Figura 82: Registro de las diferentes dosificaciones de estudio para el ensayo de viscosidad.	184
Figura 83: Proceso de registro con la interfaz y el sensor rotacional de la viscosidad.....	185
Figura 84: Supervisión del asesor y apoyo del co-asesor en laboratorio de física de la Universidad Andina del Cusco.....	185
Figura 85: Registro del peso del recipiente de densidad.....	188



Figura 86: Vertido de la mezcla de concreto hacia el recipiente de densidad	189
Figura 87: Proceso de varillado por cada capa	189
Figura 88: Proceso de limpiado del exceso de concreto	190
Figura 89: Enrasado del concreto	190
Figura 90: Registro del peso del concreto de densidad.....	191
Figura 91: Instalación y reajustes del equipo de factor de compactación.....	193
Figura 92: Registro del peso de la briqueta vacía	193
Figura 93: Nivelación y alineamiento del equipo de factor de compactación	194
Figura 94: Vertido de la mezcla de concreto hacia el aparato de factor de compactación ...	194
Figura 95: Procedimiento por gravedad del retirado de las trampas en el aparato de factor de compactación.....	195
Figura 96: Retirado del sistema de fijación de la briqueta inferior del aparato de factor de compactación.....	195
Figura 97: Procedimiento de eliminación del exceso de mezcla de concreto en la briqueta.	196
Figura 98: Registro del peso parcialmente compactado	196
Figura 99: Proceso de vaciado y varillado de la mezcla de concreto	197
Figura 100: Registro del peso totalmente compactado.....	197
Figura 101: Curva granulométrica del agregado grueso de la cantera Vicho.....	200
Figura 102: Cuadro de barras del contenido de humedad promedio de agregado grueso de la cantera Vicho.....	201
Figura 103: Ensayo resistencia a la abrasión del agregado grueso de la cantera Vicho	206
Figura 104: Curva granulométrica del agregado fino de la cantera Huambutio.....	207
Figura 105: Curva granulométrica del agregado fino de la cantera Cunyac	208
Figura 106: Curva granulométrica del agregado fino (Cunyac + Huambutio).....	210
Figura 107: Cuadro del contenido de humedad promedio de agregado fino (Cunyac y Huambutio).....	212
Figura 108: Características técnicas del cemento Yura tipo IP	216
Figura 109: Resumen promedio de segregación del concreto	247
Figura 110: Resumen final promedio de exudación del concreto.....	248
Figura 111: Resumen final promedio del revenimiento del concreto.....	249
Figura 112: Resumen final promedio de la viscosidad del concreto	251
Figura 113: Resumen final promedio de la densidad del concreto.....	252
Figura 114: Resumen final promedio del factor de compactación del concreto	253



Capítulo I: Planteamiento del problema

1.1 Identificación del problema

1.1.1 Descripción del problema

El sector de la construcción tiene una amplia capacidad de factores que la hacen muy compleja, en comparación con otro tipo de industrias donde en la mayoría de factores que intervienen en ellos se puede limitar, corregir, equiparar y medir fácilmente; lo que conlleva a pensar que alcanzar la calidad absoluta en los procesos de construcción sea una tarea difícil, pero no imposible.

Un ejemplo muy claro de mejora, es el proceso de fabricación de concreto, el material más usado en la industria de la construcción y que no es ajeno a tener muchos problemas durante su producción tales como materiales de pobre calidad, máquinas de bajo rendimiento (mezcladoras, vibradores para concreto, etc.), mano de obra no calificada, complejidad del proyecto, etc. lo que ocasiona una mala calidad estética y estructural de la obra.

Para corregir esta situación que presenta el concreto en su elaboración, se recurren a ensayos que ayuden a medir su calidad antes de su puesta en obra, como es muy conocido el ensayo de revenimiento que nos da una estimación de la trabajabilidad del concreto en pulgadas, que es la facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación, pero actualmente este ensayo se realiza empíricamente lo que puede ocasionar fallas en la mezcla del concreto en estado fresco, por eso las medidas que se van tomando hoy en día, son de investigación lo que genera nuevas ciencias para corregir estas falencias en el proceso de fabricación del concreto.

Por tal motivo nace la reología del concreto, ciencia que se encarga a través del estudio de algunos parámetros como la viscosidad y esfuerzo de corte, que permiten cuantificar aspectos muy importantes de la trabajabilidad del concreto que otros ensayos individuales o la inspección visual no son capaces de hacerlo cuando se emplean distintos materiales para fabricar el concreto.



Entonces de ahí nace nuestra problemática, ya que a pesar que la ciencia reológica tiene pocos años de investigación en nuestra región del Cusco, no es muy conocida y tampoco aplicada en ámbitos de investigación universitaria o en postgrados, lo que limita a los ingenieros civiles a desarrollar un proceso constructivo tradicional o a base de experiencia, sin dar mucha importancia al concreto en su estado fresco, ya que al fabricar un concreto fluido, visualmente la apariencia de la mezcla puede ser muy buena porque hay suficiente cantidad de pasta (elevado contenido de cemento) y la suficiente fluidez (elevadas dosis de aditivos), para facilitar los trabajos en obra, pero eso no significa que tenga una alta calidad posterior a su puesta en obra o posiblemente se esté sobredosificando el cemento, aditivo o adiciones minerales.

Encareciéndose el costo por metro cúbico (m^3), en un mercado más competitivo resulta muy perjudicial, ya que en ocasiones se realiza la preparación del concreto de una manera mecánica, implicando algunos errores posteriores a su puesta en obra, como son las probabilidades de existencia de cangrejeras.

En la industria de la construcción del concreto, desde el punto de vista de los materiales, el reto de ingeniería radica en hacer buenos diseños de mezclas con la trabajabilidad, fluidez y estabilidad adecuada para facilitar su colocación, consolidación y acabado de las estructuras en obra, con costos muy competitivos en relación a otros materiales disponibles, es por eso que se recurre a la ciencia reológica para investigar los parámetros que nos brinden un alcance más claro donde los concretos y morteros rindan en óptimas condiciones y donde se tengan riesgos de inestabilidad durante su aplicación en obra (lo que se traduce en deficiencia de los acabados, reducción de las resistencias mecánicas y de la calidad final del concreto).

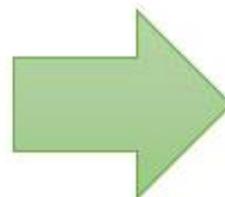


Figura 1: Concreto convencional con presencia de cangrejeras.



Figura 2: Concreto aditivado con superplastificante con una mejor homogeneidad en la mezcla y posterior acabo.

Existiendo esta problemática se propone estudiar un análisis comparativo de las propiedades reológicas del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con un concreto con aditivo superplastificante al 0.6%, 0.8%, 1% y 1.5%, ya que disminuye el contenido de agua en la mezcla y facilita la colocación del concreto en elementos con alta densidad de armadura, sin necesidad de aumentar la relación agua / cemento. La reología ayuda a cuantificar lo que nuestra vista no puede precisar, a través de mediciones de parámetros reológicos permite encontrar el punto de equilibrio entre la fluidez y estabilidad del concreto.

Ubicación temporal y geográfica del estudio. - La tesis se elaboró en la provincia y departamento del Cusco, ubicado en la región sur oriental del Perú, comprende zonas andinas y parte de la selva alta. Limita al norte con el departamento de Ucayali, al sur con los departamentos de Arequipa y Puno, al este con los departamentos de Madre de Dios y Puno y al oeste con los departamentos de Arequipa, Apurímac, Ayacucho y Junín.



Tabla 1: Ubicación geográfica

Superficie:	71,891 km ² .
LATITUD Sur:	11° 13' 19"
LONGITUD Oeste:	Entre meridianos 72° 59' 52" y 73° 57' 45"
Densidad demográfica:	17 hab./km ² .
Capital del Departamento:	Cusco (3,300 msnm)
Provincias:	Acomayo, Anta, Calca, Canas, Canchis, Cusco, Chumbivilcas, Espinar, La Convención, Paruro, Paucartambo, Quispicanchi y Urubamba.

Fuente: INEI.



Ubicación de la
provincia del
Cusco.

Figura 3: Mapa de localización del Cusco

Fuente: INEI.



Ubicación local:

La ciudad del Cusco tiene una superficie de 617,00 km² y se encuentra ubicada a 3399 msnm, está en el centro de un fértil valle bañado por las aguas de los ríos Huatanay (afluente del Vilcanota) y Tullumayu. La ciudad se levanta sobre un antiguo lecho lacustre que hace unos 100.000 años, según los investigadores, estuvo ocupado por el lago denominado Morkill.

La ciudad del Cusco está dividida en 8 distritos (Ccorca, Cusco, Poroy, San Jerónimo, San Sebastián, Santiago, Saylla y Wanchaq). Debido a la gran diversidad de pisos altitudinales que abarca, el departamento presenta una amplia variedad de climas y paisajes. En las partes más bajas (menos de 2000 msnm) se dan muchos tipos de climas cálidos, en los pisos intermedios el clima es templado, y en las partes más altas (3700 msnm a más) reinan las temperaturas frías. La ciudad del Cusco se ubica en una zona de transición entre la zona templada y la fría, por lo que cualquier época del año es buena para visitarla, ya que goza de un clima seco uniforme en todas las estaciones: soleando en el día y frío en la noche. La época de lluvias va del mes de diciembre a marzo. La temperatura promedio de la ciudad es de 10.9° C.



Ubicación local:
San Jerónimo – Universidad
Andina del Cusco

Figura 4: Mapa de ubicación de la ciudad del Cusco

Fuente: INEI.



1.1.2 Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1 Formulación interrogativa del problema general

¿Cuál es el análisis comparativo de las propiedades reológicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm² con un concreto con superplastificante del 0.6% - 1.5% en la ciudad del Cusco?

1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos

1.1.2.2.1 Problema específico N°1

¿Cuál es la variación de la estabilidad de un concreto $f'c=210$ kg/cm² en comparación a un concreto con superplastificante del 0.6% - 1.5% con respecto a la segregación y exudación en la ciudad del Cusco?

1.1.2.2.2 Problema específico N°2

¿Cuál es la variación de la movilidad de un concreto $f'c=210$ kg/cm² en comparación a un concreto con superplastificante del 0.6% - 1.5% con respecto a la viscosidad y cohesión en la ciudad del Cusco?

1.1.2.2.3 Problema específico N°3

¿Cuál es la variación de la compactabilidad de un concreto $f'c=210$ kg/cm² en comparación a un concreto con superplastificante del 0.6% - 1.5% con respecto a la densidad y factor de compactación en la ciudad del Cusco?

1.2 Justificación de la investigación

1.2.1 Justificación técnica

Desde el punto de vista técnico, esta investigación se justificó mediante los resultados obtenidos a través de los ensayos de la reología del concreto ya que se podrán mejorar en los procesos de producción y brindar la facilidad de uso para la elaboración de las mezclas del concreto; dándonos una mejor trabajabilidad al obtener un concreto resistente y duradero el mismo que es fundamental en la construcción. El cual fue elaborado con los parámetros de las propiedades



reológicas del concreto (estabilidad, movilidad y compactabilidad) obtenidos en laboratorios tras una serie de ensayos.

1.2.2 Justificación social

En la medida que el estudio reológico del concreto tome mayor importancia en su investigación profunda, se beneficiará la población colectiva, la misma que contara con un apoyo al obtener parámetros y resultados confiables del concreto utilizado para una construcción. Teniendo como finalidad que esta investigación se comparta a los distribuidores de concreto pre mezclado y las fábricas que elaboran aditivos las que tendrán libre acceso a la información brindada por parte de los tesisistas de la presente investigación.

Por otro lado, se beneficiará la comunidad de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura al contar con una guía y registro informativo de la reología del concreto y al aportar nuevos conocimientos en la ciencia reológica y sus propiedades e incentivando a más investigaciones sobre el tema.

1.2.3 Justificación por viabilidad

El presente trabajo de investigación se consideró como viable debido a que se pudieron fabricar los equipos necesarios para el estudio reológico, teniendo en cuenta que en cada equipo se consideró las normas peruanas y extranjeras, con medidas ya estandarizadas para cada muestra de concreto a emplearse en la presente investigación; Asimismo se contó con el financiamiento para toda la investigación.

1.2.4 Justificación por relevancia

El siguiente trabajo de investigación se realizó para tener un alcance real sobre la ciencia de la reología en el concreto, obteniendo así un registro cuantificable de las propiedades del concreto en estado fresco para su uso estructuralmente normado y obtener su máxima eficiencia en construcción, teniendo en cuenta que el departamento del Cusco presenta una alta demanda en el uso del concreto como principal fuente para la construcción de edificaciones.



De la misma forma contribuye al departamento del Cusco al proponer un uso alternativo de una mezcla de concreto diseñado a partir de la ciencia reológica para obtener una mayor calidad en su aplicación de construcción. Su principal factor es fomentar construcciones con dichos parámetros y regidos por las Normas Técnicas Peruanas, ya que es conveniente evaluar los aditivos superplastificantes y así obtener un parámetro en su aplicación, mediante ensayos de laboratorio debidamente normados por lo que rige el reglamento peruano.

1.3 Limitaciones de la investigación

1.3.1 Limitaciones de lugar

La investigación tuvo como ámbito de influencia la provincia y departamento del Cusco, la cual se encuentra en la zona central y sur oriente del Perú.

1.3.2 Limitaciones de diseño

En la investigación se elaboró con los siguientes materiales:

- Cemento Portland tipo IP de la marca Yura.
- El aditivo que se utilizó fue de la marca Mapei del tipo Dynamon Sp1 proveniente de Italia, el cual nos brinda una elevada trabajabilidad, lo cual resulta de fácil colocación y manipulación del concreto en estado fresco y posee elevadas prestaciones mecánicas una vez endurecido, además dicho aditivo es relativamente nuevo y poco utilizado en la ciudad del Cusco, lo cual se consideró dicho aditivo para la investigación con el propósito de tener un registro informativo y así obtener resultados confiables.
- Aditivo superplastificante se consideró las dosificaciones de 0.6%, 0.8% 1% y 1.5%.
 - a) Primeramente, se consideró el porcentaje de 0.6% debido a que la ficha técnica del aditivo Mapei-Dynamon SP1 indica este porcentaje como dosis mínima y así comprobar que dicha dosificación si es óptimo o no para su uso.
 - b) La dosificación al 0.8% se empleó para establecer el comportamiento del aditivo en un término medio entre la dosis mínima de 0.6% y máxima de 1% que establece la ficha técnica del aditivo y así evaluar el rango de aceptación para su uso.
 - c) Se consideró al 1% como dosis máxima según la ficha técnica, con tal motivo de analizar y llegar a la conclusión si es apto para su uso.



- d) Finalmente, la dosificación al 1.5% para tener un registro confiable de comportamiento del aditivo a un porcentaje más elevado de lo que recomienda el fabricante.
- Para el uso del aditivo se consideró la característica técnica recomendada por el fabricante que conlleva al incremento de la trabajabilidad respecto al concreto no aditivado con la misma relación agua/cemento.
 - El agua que se utilizó fue provisto por SEDA CUSCO.
 - El agregado fino se obtuvo de las canteras Cunyac y Huambutio.
 - El agregado grueso fue de la cantera de Vicho con un tamaño máximo nominal de 3/4".
 - El concreto que se tomó de referencia para la elaboración del diseño de mezclas fue de $f'c$ 210 kg/cm.
 - El diseño de mezclas se elaboró según el método ACI 211.1 orientado a estructuras de cimentaciones y las proporciones de la dosificación por peso del cemento en kg; 1kg de cemento, 1.66kg de agregado fino, 2.95kg de agregado grueso y 0.52lt de agua. Ya que es un método de dosificación para el diseño de mezclas de concreto y se basa en medir los materiales (cemento, agregado grueso, agregado fino y agua) en peso y volumen, también nos da la facilidad de calcular la resistencia promedio requerida de acuerdo a un cuadro de la norma E.060, cuando no se tienen estudios realizados de la resistencia a la compresión del concreto, lo cual fue muy útil para los ensayos de las propiedades reológicas del concreto en estado fresco. Además, este método a comparación de otros nos brinda concretos con mayor trabajabilidad debido a que la proporción de la grava compactada se determina en función TMN del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino y no hace distinción entre agregados naturales o triturados.

1.3.3 Limitaciones de equipos

La presente investigación se limitó a la elaboración de equipos con la finalidad del estudio reológico del concreto, realizando los ensayos en el laboratorio de Tecnología del Concreto de la Universidad Andina del Cusco bajo asesoría de Mg. Ing. Jorge Álvarez Espinoza y el Lic. Rolando Lozano Cusi. Los equipos fueron fabricados para los ensayos de segregación, exudación, factor de compactación, densidad y viscosidad.



1.3.4 Limitaciones de ámbito de estudio

En la investigación se estudió; para la propiedad de estabilidad se realizó el ensayo de segregación mediante la técnica de la columna y el ensayo de exudación mediante método A (muestra consolidada por varillado), para la propiedad de movilidad se realizó el ensayo de viscosidad mediante el método de cilindros concéntricos, debido a que no se cuenta con un viscosímetro o un reómetro y el ensayo de cohesión mediante el ensayo de revenimiento y para la propiedad de compactabilidad se realizó el ensayo de factor de compactación mediante el Método Británico y el ensayo de densidad mediante el ensayo de densidad aparente.

- El diseño de mezclas del concreto se realizó mediante el método ACI.
- La evaluación de testigos en cada ensayo fue de 10 unidades.
- Aplicación de la NTP 339.218, para el ensayo de segregación.
- Aplicación de la NTP. 339.077, para el ensayo de exudación.
- Aplicación de la NTP 339.035, para el ensayo de cohesión.
- Aplicación de la NTP 339.046, para el ensayo de densidad.
- Aplicación de norma British Standard BS 1881: Part 103: 1983, para el ensayo de factor de compactación.
- Aplicación del viscosímetro de cilindros concéntricos mediante el autor Irving H. Shames del libro de mecánica de fluidos, para el ensayo de viscosidad.

1.4 Objetivo de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Analizar comparativamente las propiedades reológicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm² con un concreto con superplastificante del 0.6% - 1.5% en la ciudad del Cusco.

1.4.2 Objetivos específicos

1.4.2.1 Objetivo específico N°1

Determinar la estabilidad de un concreto $f'c=210$ kg/cm² en comparación a un concreto con superplastificante del 0.6% - 1.5% con respecto a la segregación y exudación en la ciudad del Cusco.



1.4.2.2 Objetivo específico N°2

Determinar la movilidad de un concreto $f'c=210$ kg/cm² en comparación a un concreto con superplastificante del 0.6% - 1.5% con respecto a la viscosidad y cohesión en la ciudad del Cusco.

1.4.2.3 Objetivo específico N°3

Determinar la compactabilidad de un concreto $f'c=210$ kg/cm² en comparación a un concreto con superplastificante del 0.6% - 1.5% con respecto a la densidad y factor de compactación en la ciudad del Cusco.



Capítulo II: Marco teórico

2.1 Antecedentes de la tesis

2.1.1 Antecedentes a nivel nacional

2.1.1.1 Antecedente nacional N°1

Título: “Desarrollo de concretos fluidos coloreados a reología adaptada, aplicados a la construcción de edificaciones de concreto en Lima”.

Institución: Facultad de Ingeniería Civil Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Autor: Caicedo Moreno, Enzo Lizardo y del Álamo Abanto, Jeaffet Lui.

Nivel: Pregrado.

Año: Lima 2015.

Resumen: El presente proyecto contempla el desarrollo de una gama de concretos fluidos coloreados a reología adaptada destinados a la construcción de viviendas con acabado incluido. A través de la metodología de plan de experiencias se fijaron 3 parámetros de evaluación; cantidad de material cementante (mc), el cual está conformado por el cemento y filler cuyos valores se encuentran entre 330 kg a 420 kg, relación agua/material-cementante (a/mc), en un rango de evaluación entre 0.40 a 0.60; y la relación agregado fino/agregado grueso (af/ag) en un rango de evaluación que va de 0.47 a 0.55, obteniéndose 10 diseños de mezcla de los cuales se evaluaron sus propiedades reológicas de extensibilidad, J-Ring, L box, viscosidad y esfuerzo de corte. Asimismo, se evaluó el comportamiento en estado endurecido del concreto como la resistencia a compresión del concreto a las edades de 3, 7 y 28 días y el índice de acabado.

Conclusiones: Con el análisis de viscosidad y extensibilidad (gráfico N°22) se observa que las mezclas con relación $a/mc = 0.6$ y contenido de $mc = 330$ kg cumplen con los parámetros de extensibilidad a los 70 min y a su vez presentan una viscosidad que garantiza la no segregación de la mezcla. Del mismo modo la mezcla con relación $af/ag = 0.51$ y $mc = 375$ kg cumple con ambos parámetros en simultaneo. La mezcla M-7 ($a/mc = 0.4$; $mc = 330$; $af/ag = 0.55$) a pesar de cumplir con los parámetros de extensibilidad, J-Ring, L-Box, es una mezcla que sufre segregación, ya que presenta una velocidad inferior a 10 Pa.s. Se concluye que las mezclas M-5 ($mc = 330$; $a/mc = 0.6$; $af/ag = 0.55$) y M-9 ($mc = 375$ kg; $a/mc = 0.50$; $af/ag = 0.51$). son las que presentan una mejor performance en estado fresco, dado a que cumplen con la mayoría de los ensayos planteados en el plan experimental ambos con 76.47 % de cumplimiento.



Comentario: La mezclas con un rango de material cementante entre 330 kg y 375 kg, poseen una adecuada trabajabilidad a los 70 minutos, a excepción de la mezcla M-8 la cual presenta una mayor incidencia de agregado grueso ($a/ag = 0.47$) haciendo la mezcla menos pastosa; por otro lado, la relación de $a/mc = 0,4$ es baja, lo cual significa menor presencia de agua, por lo que la mezcla tiende a secarse con mayor facilidad.

La tesis mencionada sirvió para tener un mayor alcance en lo que respecta al ensayo de viscosidad, el cual fue realizado por un reómetro y dicho aparato contempla parámetros que fueron evaluados de 10 Pa.s a 80 Pa.s, otro punto que se evaluó es el estudio de la reología en el concreto con distintos diseños de mezcla.

2.1.1.2 Antecedente nacional N°2

Título: “Influencia del aditivo superplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto, en la ciudad de Huancayo”.

Institución: Facultad de Ingeniería Civil Universidad Nacional del Centro del Perú.

Autor: Mayta Rojas, Jhonathan Wilson.

Año: Huancayo 2014.

Resumen: La presente tesis tiene como objetivo analizar el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido (trabajabilidad, tiempo de fraguado y resistencia mecánica), debido a la incorporación del aditivo superplastificante en las mezclas de concreto.

Para esto primeramente se prepararon los diseños de mezclas patrones (sin el aditivo mencionado) de relaciones $a/c = 0.40, 0.50$ y 0.60 , según el método de agregado global y para un asentamiento de cono de 4"; luego sin variar los componentes iniciales del concreto patrón, se incorporaron diferentes dosis de aditivo superplastificante (250, 450, 650, 850 y 1050 ml por cada 100 kg de cemento), obteniéndose así los diseños de mezclas experimentales. Todas las variantes hacen un total de 18 diseños de mezcla.

En cada una de las mezclas (patrón y experimental) se efectuaron ensayos de segregación estática, asentamiento, temperatura, exudación, peso unitario, tiempo de fraguado, en el concreto fresco; resistencia a la compresión, en el concreto endurecido. Los resultados obtenidos de los ensayos, son sometidos a un análisis comparativo entre las mezclas



experimentales respecto a las mezclas patrones. Finalmente se concluye que el aditivo superplastificante ocasiona lo siguiente: aumenta la trabajabilidad del concreto, retrasa brevemente el tiempo de fraguado, y además se obtuvieron resistencias a la compresión por encima del 70% respecto al concreto patrón (referente 28 días) en 3 días, para dosis de 650 ml del aditivo superplastificante.

Conclusiones: Debido a la utilización del aditivo superplastificante "Rheobuild Ve" en las mezclas de concreto se obtuvo que la trabajabilidad en cuanto a la segregación para las mezclas diseñadas con relación $a/c = 0.40, 0.50$ y 0.60 ; y con una dosis de 105 ml de aditivo superplastificante, se obtuvieron porcentajes de segregación de 8.11 %, 6.08% y 5.18% respectivamente. Los diseños A-5 y B-5 ligeramente sobrepasan el límite recomendado de 6%.

El asentamiento de cono, para cualquier relación a/c , experimentó incrementos mínimos con dosis de aditivo superplastificante de 250 ml, e incrementos máximos con dosis de aditivo superplastificante de 105 ml.

El tiempo transcurrido en alcanzar un asentamiento de cono de 3", para cualquier relación a/c , desarrolló incrementos mínimos con dosis de aditivo superplastificante de 250 ml, e incrementos máximos con dosis de aditivo superplastificante de 1050 ml. En la exudación la inserción del aditivo superplastificante en las mezclas de concreto, generó un porcentaje de exudación mínimo para dosis de 250 ml; sin embargo, en la medida que se aumentan dosis por encima de los 250 ml, se observa que el porcentaje de exudación aumenta, no obstante, este valor está siempre por debajo del porcentaje de exudación obtenido para la mezcla patrón.

La exudación, para cualquier relación a/c , alcanzó decrecimientos máximos con dosis de aditivo superplastificante de 250 ml, y decrecimientos mínimos con dosis de aditivo superplastificante de 1 050 ml. En síntesis, el aditivo superplastificante influye en la trabajabilidad del concreto, ya que la incorporación del aditivo a las mezclas de concreto modificará las propiedades de segregación, asentamiento, temperatura, peso unitario y exudación.

Comentarios: La incorporación del aditivo superplastificante en las mezclas de concreto, no debe presentar porcentajes de segregación estática superiores al 6.0%. La finalidad de esta restricción es evitar que el concreto presente resistencias a la compresión por debajo del



concreto patrón, niveles altos de exudación e incorporación de aire, estructuras con pésimos acabados en donde se observen oquedades o cangrejeras.

La tesis sirvió para tener un mejor alcance sobre la trabajabilidad del concreto y observar de mejor manera el procedimiento y los cálculos para los ensayos de segregación, revenimiento y exudación.

2.1.2 Antecedentes a nivel internacional

2.1.2.1 Antecedente internacional N°1

Título: “Estudio de la incidencia del Elvaloy en las propiedades reológicas del concreto asfáltico y del asfalto de la planta de Barrancabermeja”.

Institución: Facultad de Ingeniería Universidad Católica de Colombia.

Autor: Franco Lozano, Máximo.

Año: Colombia 2015.

Resumen: En el proyecto de grado “Estudio de la incidencia del Elvaloy en las propiedades reológicas del asfalto y del concreto asfáltico de la planta de Barrancabermeja” hará una descripción de los diferentes conceptos que contiene el tema de asfaltos modificados con este aditivo en particular, teniendo en cuenta la información que existe de Elvaloy referente a estudios y avances en este tema que se han realizado en Colombia y otros países de la región, se enunciarán y explicarán las características reológicas que se analizan y mediante ensayos de laboratorio realizados en un diseño Marshall que se está empleando en un proyecto de infraestructura y al asfalto utilizado, a este mismo diseño, se le adicionará el aditivo en estudio.

Se determinará qué características modifica en el diseño original y las que modifica al asfalto, con la comparación de estos ensayos se realizará un análisis general sobre lo que le sucede al concreto asfáltico al adicionarle Elvaloy, que beneficios le aporta a la mezcla asfáltica y la incidencia de este en algunas propiedades del asfalto.

Conclusiones: En el análisis de los ensayos de reología del asfalto en la investigación se realizaron cinco ensayos de reología con el fin de estudiar la incidencia del polímero Elvaloy en la reología del asfalto en estudio con el fin de determinar el efecto en la consistencia del asfalto del mejorador de asfalto, ya que esto puede influir en la rigidez del mismo, altos valores



de penetración indican consistencias muy blandas. El aditivo de Elvaloy mejora la adherencia entre el asfalto y los agregados lo que aumenta su impermeabilidad, adicionalmente impide el desprendimiento del ligante y de las partículas finas lo que aumenta la durabilidad de la carpeta asfáltica.

Comentarios: El aditivo de Elvaloy mejora la adherencia entre el asfalto y los agregados lo que aumenta su impermeabilidad, adicionalmente impide el desprendimiento del ligante y de las partículas finas lo que aumenta la durabilidad de la carpeta asfáltica.

La tesis sirvió para tener una referencia con respecto a las propiedades reológicas en el concreto asfáltico y como influencia el aditivo Elvaloy mejorando las propiedades reológicas del asfalto.

2.1.2.2 Antecedente internacional N°2

Título: “Estudio de la resistencia y reología de hormigones con adición de escorias de cobre como sustituto del árido fino”.

Institución: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial Departamento de Física Aplicada II Universidad de Málaga.

Autor: Cruz Carrasco, Manuel.

Año: España 2014.

Resumen: Las escorias de cobre son un residuo procedente del proceso pirometalúrgico de los minerales sulfurados de cobre. Estas normalmente se depositan en vertederos autorizados anexos a las plantas de fundición. El volumen de escorias vertidos tras el proceso industrial crece cada año, por lo que cada vez se necesitan mayores superficies de acopio, superficies que en muchos casos no se encuentran junto a las plantas de producción por haber sido agotadas. La incorporación de los residuos de la industria a la fabricación de hormigones ya sea como adiciones en la formulación del cemento o la sustitución parcial o total de los áridos, hacen que por un lado se minimicen las actividades extractivas, las cuales degradan enormemente el medio ambiente y por otro, se de salida a los subproductos industriales. En la presente investigación se estudian hormigones con características diferentes a las del hormigón convencional, donde se ha sustituido el árido fino por escorias de cobre en diferentes proporciones. Se evalúa la trabajabilidad, escurrimiento, límite de fluencia, viscosidad plástica y la capacidad autocompactante en los hormigones en estado fresco. Para el estado endurecido se determina la



densidad, porosidad y absorción, succión, permeabilidad, así como las resistencias a compresión, tracción, flexo-tracción, abrasión superficial y desgaste, además del módulo de elasticidad, índice de rebote, estudio ultrasónico y comportamiento frente a la carbonatación.

Conclusiones: Se conoce que la Reología aplicada a materiales cementos es una herramienta fundamental para comprender su comportamiento en estado fresco, así como para el desarrollo de nuevas formulaciones. El estudio reológico de los materiales cementosos conlleva una serie de dificultades inherentes a la propia naturaleza del material. Este hecho es debido a que se trata de suspensiones muy concentradas y consistentes, que pueden contener áridos y que, además, se están hidratando de forma permanente, por lo que la estructura química del sistema experimenta cambios mientras perdura su estado fresco. Un aumento del porcentaje de escoria de cobre en el hormigón provoca una disminución de la docilidad y en consecuencia de la trabajabilidad. Debido a ello, para obtener materiales con la misma docilidad se debería de aumentar el porcentaje de superplastificante o aumentar la cantidad de agua en la masa, variando en consecuencia, la relación agua/cemento.

Comentarios: El estudio reológico en la investigación citada da a conocer la importancia de esta ciencia para la estimación de la docilidad y trabajabilidad del concreto cuando se le añaden nuevos componentes con el fin de tener un mejor performance, también cabe mencionar que la incorporación de escorias de cobre en la elaboración de concreto ya sea como adiciones en la formulación del cemento o la sustitución parcial o total de los áridos, hacen una disminución de las actividades extractivas, las cuales degradan enormemente el medio ambiente.

La tesis sirvió para completar fundamentos teóricos sobre la reología del concreto, los modelos reológicos y los instrumentos empleados para cuantificar con más precisión la reológica en el mortero como son el reómetro rotacional, la geometría de vanos y agitador de laboratorio, además de ello la adición de las escorias de cobre empleado como sustituto del árido fino en el hormigón, el cual mejora la trabajabilidad.



2.2 Aspectos teóricos pertinentes

2.2.1 Concreto

2.2.1.1 Definición del concreto

El concreto es una mezcla adecuadamente dosificada, de cemento, agua y agregados finos y gruesos. Adicionalmente también puede tener en su composición aditivos, adiciones y fibra. En casos muy importantes se le puede incorporar intencionalmente aire para incrementar su durabilidad en bajas temperaturas. El objetivo de la selección de las proporciones de los ingredientes de la unidad cúbica de concreto y de la combinación más conveniente y económica de los mismos es obtener un producto que en el estado no endurecido tenga la trabajabilidad y consistencia necesaria para colocarlo adecuadamente en los moldes, y que endurecido cumpla con las propiedades deseadas. A este proceso se le conoce como “diseño de la mezcla” o “selección de las proporciones de la mezcla”. Las propiedades del concreto están determinadas fundamentalmente por las características físicas y químicas de sus materiales componentes, pudiendo ser mejor comprendidas si se analiza la naturaleza del concreto. (Rivva, Diciembre 2008)

2.2.1.2 Importancia del concreto

El concreto hoy en día, es el material de construcción de mayor uso en nuestro país. Si bien la calidad final del concreto depende en forma muy importante del conocimiento del material y de la calidad profesional del ingeniero, el concreto es en general, desconocido en muchos de sus siete grandes aspectos: naturaleza, materiales, propiedades, selección de las proporciones, proceso de puesta en obra, control de calidad e inspección, y mantenimiento de los elementos estructurales”. (Rivva, 2000)

De lo mencionado anteriormente observamos que el concreto tiene una limitante principal para sus diversas aplicaciones en la construcción, y esto viene a ser el desconocimiento que aún existe de los aspectos ya indicados de concreto, que nos ponen en materia de investigación para obtener de este material las posibilidades de mejora y descubrimientos de nuevas ciencias que aporten en conocimientos a la Ingeniería Civil y al sector de la Construcción, tal como la Reología.



Figura 5: Concreto optimizado mediante a la ciencia reológica.

Fuente: https://per.sika.com/content/peru/main/es/solutions_products/publicaciones/articulos-tecnicos/que-es-reologia-concreto-construccion/aplicacion-reologia-concreto-construccion.html, s.f.

2.2.1.3 Estructura interna del concreto

En la figura 6, observamos la estructura interna del concreto endurecido convencional, que consiste en el aglomerante, estructura básica o matriz, constituida por la pasta de cemento y agua, que une a los agregados gruesos, finos, aire y vacíos, estableciendo un comportamiento resistente debido en gran parte a la capacidad de la pasta para adherirse a los agregados y soportar esfuerzos de tracción y compresión, así como a un efecto puramente mecánico propiciado por el acomodo de las partículas inertes y sus características propias.

Con lo mencionado anteriormente podemos concluir que la estructura del concreto no es homogénea, y en consecuencia no es isotrópica, es decir no mantiene las mismas propiedades en diferentes direcciones. Esto es principalmente a los diferentes materiales que intervienen, así como al proceso mismo de elaboración, en la que durante la etapa en la que la pasta es plástica, se posibilita el acomodo aleatorio de los diferentes componentes hasta su ubicación definitiva al endurecer. (Pasquel, Noviembre 1998)

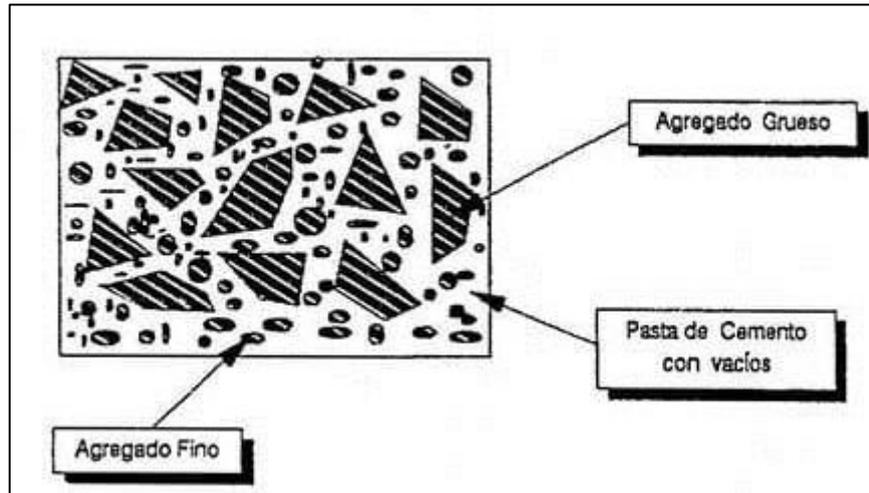


Figura 6: Esquema típico de la estructura del concreto endurecido

Fuente: Rivva, E. (2000). Naturaleza y Materiales del Concreto.

2.2.1.4 Características del concreto

Entre los factores que hacen del concreto un material de construcción universal tenemos:

- La facilidad con la que se pueda colocar dentro de los encofrados de casi cualquier forma mientras aún tiene una consistencia plástica.
- Su elevada resistencia a la compresión lo que hace adecuado para elementos sometidos fundamentalmente a compresión, como columnas y arcos.
- Su elevada resistencia al fuego y a la penetración del agua.

Pero el concreto también tiene desventajas como, por ejemplo:

- Con frecuencia el concreto se prepara en el sitio en condiciones en donde no hay un responsable absoluto de su producción, es decir el control de la calidad no es tan bueno.
- El concreto es un material de escasa resistencia a la tracción. Esto hace difícil su uso en elementos que están sometidos a tracción o en parte de sus secciones transversales (como vigas u otros sometidos a flexión).

Para superar esta limitación se utiliza el acero, con su elevada resistencia a tracción. La combinación resultante de ambos materiales, se conoce como concreto armado, posee muchas de las mejores propiedades de cada uno. (Abanto, 2005).



2.2.1.5 Requisitos del concreto

Los principales requisitos del concreto endurecido son:

- 1) Que sus elementos constituyentes cumplan con las Normas NTP o ASTM correspondientes y estén distribuidos uniformemente en la mezcla.
- 2) Que tenga las propiedades requeridas, tanto en estado no endurecido como endurecido.
- 3) Que sea impermeable al agua u otros líquidos, y resistentes a las acciones del clima, al desgaste y a otros agentes destructores a los cuales pueda estar expuesto.
- 4) Que no tenga contracción excesiva al enfriarse o secarse.
- 5) Que tenga una apariencia o acabado arquitectónico cuando ello sea requerido.
- 6) Que tenga alta resistencia a la abrasión o a productos químicos agresivos.
- 7) Que sea resistente al fuego, ligero de peso, y con un acabado superficial con la textura requerida en las especificaciones.

2.2.1.6 Los componentes del concreto

La tecnología del concreto moderna define para este material cuatro componentes: cemento, agua, agregados y aditivos como elementos activos y el aire como elemento pasivo. Si bien los aditivos se pueden considerar como un elemento opcional, en la práctica estos constituyen un ingrediente normal, así mismo la adición de otros materiales, los cuales sean científicamente demostrados para la conveniencia de su empleo y así mejorar las condiciones de trabajabilidad, resistencia y durabilidad, siendo a la larga una solución más económica si se toma en cuenta el ahorro en su puesta en obra.

Tabla 2: El concreto como un sistema de 5 componentes

Material	Ejemplo de variables
Cemento	<ul style="list-style-type: none">• Tipo de cemento.• Propiedades especiales.
Agregados	<ul style="list-style-type: none">• Normales, ligeros, pesados.• Naturales, Chancados.• Gradación, forma, textura.
Agua	<ul style="list-style-type: none">• Límites de componentes dañinos al concreto.
Adiciones	<ul style="list-style-type: none">• Microsílice, ceniza volante, etc.• Pigmentos.• Fibras.
Aditivos	<ul style="list-style-type: none">• Plastificantes, superplastificantes.• Acelerantes, retardantes, etc.

Fuente: Portugal, P. (2007).



2.2.1.6.1 El cemento

El cemento es el componente más importante y activo del concreto, por ello y recordando que las propiedades del concreto dependen tanto de la calidad como de la cantidad de sus componentes, la selección y empleo adecuado del cemento son fundamentales para obtener en forma económica, las propiedades deseadas para una mezcla dada.

El cemento es aquel que pertenece al grupo de materiales de construcción denominado aglomerante hidráulico, que comprende aquel que se endurecen mezclados con el agua y al mismo tiempo resisten la acción de esta. En nuestro mercado existen gran variedad de cementos para ser empleados por el usuario y todos ellos proporcionan los niveles de resistencia y durabilidad requeridos en obras usuales. (Abanto, 2005)

En el sector de la construcción el ingeniero civil debe saber las especificaciones técnicas es decir las propiedades necesarias y los requisitos exigidos del cemento a elegir para la obra deseada. Cabe mencionar que, en la ciudad del Cusco podemos afirmar que el cemento más utilizado en nuestra región es el cemento Portland tipo I.

- **El cemento Portland**

El cemento Portland es un material pulverulento muy fino, de color grisáceo, que se compone principalmente de silicatos de calcio y aluminio. Se admite la adición de otros productos siempre que no excedan el 1% en peso del total y que la norma correspondiente determine que su inclusión no afecta las propiedades del cemento resultante.

Los productos adicionados deberán ser pulverizados conjuntamente con el clinker. Las materias primas normales a partir de las que se fabrica son las calizas que proporcionan el CaO , y arcillas o pizarras que proporcionan el SiO_2 y el Al_2O_3 . Estos materiales se muelen, mezclan, funden hasta formar Clinker en un horno, en o en bolsas que contienen 42.5kg de cemento. (Prof. Winter & Nilson, 2005)

El cemento portland es un producto artificial, que se obtiene de la transformación de una materia prima, que puede estar compuesta de una mezcla de calizas, arcillas y otros minerales, o simplemente de calizas. Esta materia finamente molida y homogeneizada, es



llevada a altas temperaturas, a través de un horno (rotativo o vertical), de donde se obtiene un producto intermedio denominado clinker, del cual, al molerse finamente con alrededor de 5% en peso de yeso di hidrato, se obtiene el cemento. (Comité Internacional de Expertos del Cemento, 2018).

- **Tipos de cementos**

La totalidad de los cementos empleados en el Perú son cementos Portland tal como lo especifica la norma ASTM C 150; o cementos combinados, de acuerdo a lo indicado en la norma ASTM C 595.

De acuerdo a lo recomendado por la norma ASTM C 150, los cinco tipos de cementos Portland normal que pueden ser clasificados como estándar y cuya fabricación está formada por requisitos específicos son:

- **Tipo I:** De uso general, donde no se requiere propiedades especiales. Se usa donde el cemento o el concreto no está sujeto al ataque de factores específicos, como los sulfatos del suelo o del agua, o elevaciones perjudiciales de temperatura, debido al calor generado por la hidratación. Entre sus usos se incluyen pavimentos y aceras, edificios de concreto reforzado, puentes, estructuras para ferrocarriles, tanques y depósitos, alcantarillas, tuberías para agua, etc.
- **Tipo II:** De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Especialmente adecuados para ser empleados en estructuras en ambientes agresivos y/o vaciados masivos. En estructuras de drenaje en las que las concentraciones de sulfatos en las aguas subterráneas son algo más elevadas que lo normal, pero normalmente no muy graves. Es recomendable en estructuras de gran masa, como las grandes pilas, estribos gruesos, y muros de contención gruesos. Con su empleo se disminuye al mínimo la elevación de temperatura, lo que es especialmente importante cuando el concreto se utiliza en climas cálidos.
- **Tipo III:** De desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación. Especiales para uso en los casos en que se necesita adelantar la puesta en servicios de las estructuras, desencofrar rápidamente, o para uso en climas fríos al permitir



disminuir el periodo de curado. Se estima que pueden proporcionar el endurecimiento del concreto mejor y/o más económicamente.

- **Tipo IV:** De bajo calor de hidratación, este cemento debe emplearse donde el grado y la cantidad de calor generado se debe reducir al mínimo recomendable para concretos masivos. Sus propiedades son las necesarias para emplearse en estructuras de concreto de gran masa, como grandes presas de gravedad, en las que la elevación producida en la temperatura por el calor generado durante el endurecimiento es un factor crítico (no se fabrica en el Perú).
- **Tipo V:** Recomendables para ambientes muy agresivos por su alta resistencia a los sulfatos. Y se emplea únicamente en aquellos casos en que la concentración de sulfatos es mayor a 10,000 ppm, recomendándose su empleo conjuntamente con una adición puzolánicas. Su resistencia aumenta más lentamente que el cemento Tipo I o Normal.

De estos cinco tipos en el Perú sólo se fabrican los Tipos I, II, y V, tal como lo demuestra el siguiente cuadro:

Tabla 3: Tipos y clases de cemento en el Perú en base a las empresas de cementos

EMPRESAS	CEMENTO PORTLAND			CEMENTO PORTLAND ADICIONADOS			
	I	II	V	IP	I(PM)	MS	I CO
Cemento Andino	✓(1)	✓(1)	✓(1)		✓		
Cemento Lima	✓	✓(1)		✓			
Cemento Pacasmayo	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Cemento Selva	✓(1)	✓(1)(2)	✓(1)(2)	✓			✓
Cemento Sur	✓	✓(2)	✓(2)	✓	✓		
Cemento yura	✓	✓(2)	✓(2)	✓	✓		

(1) de bajo contenido de álcalis. (2) ha pedido

Fuente: Asociación de productores de cemento. <http://www.asocem.org.pe>, s.f.

Si a los cementos se les ha añadido el sufijo A significa que son cementos a los que se ha añadido incorporadores de aire en su composición, manteniendo las propiedades originales. En el Perú no se fabrica este tipo de cementos. (Rivva, Diciembre 2008).



Los denominados «cementos adicionados» son mezclas de cemento y un material de características puzolánicas molidos en forma conjunta. En el Perú se fabrican los tipos IP, IPM, IS y ISM.

- **El cemento tipo IP** es un cemento al cual se ha añadido puzolana en un porcentaje que oscila entre el 15% y el 40% del peso total.

Características:

- ✚ Producto obtenido de la molienda conjunta de clinker, yeso y puzolana.
- ✚ Debido al contenido de fierro en la composición química de la puzolana tiene una coloración rojiza.
- ✚ La resistencia a los 28 días es igual al cemento Pórtland tipo I.
- ✚ Desprende menor calor de hidratación, lo que reduce la retracción térmica.
- ✚ Por ser un cemento más finamente molido, mejora la impermeabilidad favoreciendo una mejor conservación del concreto.
- ✚ Su resistencia a la acción de los sulfatos es mejor en comparación al cemento Pórtland tipo I.
- ✚ Mayor trabajabilidad en morteros y revestimientos.

Usos y Aplicaciones:

- ✚ Macizos de hormigón en grandes masas.
 - ✚ Para cimentaciones de todo terreno, aplicable a suelos salitrosos por presentar un mejor comportamiento que el cemento Pórtland tipo I.
 - ✚ Obras marítimas y sanitarias.
 - ✚ Albañilería (fábrica de ladrillos y mampostería).
 - ✚ Sellados.
 - ✚ Baldosines hidráulicos.
 - ✚ Prefabricados curados por tratamientos térmicos.
 - ✚ Mortero para el asentamiento de ladrillos, tarrajeos, enchapes de mayólicas y otros materiales.
 - ✚ Fabricación de bloques, tubos para acueducto y alcantarillado, terrazos, adoquines, etc.
- **El cemento tipo IPM** es un cemento al que se le ha añadido puzolana en un porcentaje menor del 15% del peso total.



- **El cemento tipo IS** es un cemento al cual se le ha añadido entre 25% y 75% de escoria de altos hornos referido al peso total.
- **El cemento tipo ISM** es un cemento al cual se ha añadido menos del 25% de escoria de altos hornos referida al peso total. (Rivva, Naturaleza y Materiales del Concreto, Diciembre 2000)

Todos estos cementos tienen variantes en que se les añade aire incorporado (sufijo A), se induce resistencia moderada a los sulfatos (sufijo M), o se modera el calor de hidratación (sufijo H). Las puzolanas son materiales inertes silíceos y/o aluminosos, que individualmente tienen propiedades aglomerantes casi nulas, pero que finamente molidas y al reaccionar químicamente con hidróxidos de calcio y agua adquieren propiedades cementantes. Las puzolanas se obtienen por lo general de arcillas calcinadas, tierras diatomeas, tufos y cenizas volcánicas, y de residuos industriales como cenizas volátiles, ladrillo pulverizado, etc.

La particularidad de reemplazar parte del cemento por estos materiales, implica en cambiar alguna de sus propiedades, como son el aumentar los tiempos de duración de los estados mencionados anteriormente, retrasar y/o disminuir el desarrollo de resistencia en el tiempo, reducir la permeabilidad, mayor capacidad para retener agua, mayor cohesidad, incremento de los requerimientos de agua para formar la pasta, menor calor de hidratación y mejor comportamiento frente a la agresividad química. (Pasquel, Noviembre 1998)

2.2.1.6.2 El agua de mezcla

El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales:

- 1) Reaccionar con el elemento para hidratarlo.
- 2) Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- 3) Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

Por lo tanto, la cantidad de agua que interviene en la mezcla de concreto es normalmente por razones de trabajabilidad, mayor de la necesaria para la hidratación del cemento. El problema principal del agua de mezcla reside en las impurezas y la cantidad de estas, que ocasionan



reacciones químicas que alteran el comportamiento normal de la pasta de cemento. Una regla empírica que sirve para estimar si determinada agua sirve o no para emplearse en la producción de concreto, consiste en establecer su pureza para el consumo humano, ya que lo que no daña al hombre no daña al concreto.

En ese sentido, es interesante distinguir el agua potable en términos de los requerimientos establecidos por los organismos que regulan su producción y uso, y el agua apta para consumo humano, ya que los requerimientos aludidos normalmente son mucho más exigentes de lo necesario. No existe un patrón definitivo en cuanto a las limitaciones en composición química que debe tener el agua de mezcla, ya que incluso aguas no aptas para el consumo humano sirven para preparar concreto y por otro lado depende mucho del tipo de cemento y las impurezas de los demás ingredientes. Los efectos más perniciosos que pueden esperarse de aguas de mezcla con impurezas son: retardo en el endurecimiento, reducción de la resistencia, manchas en el concreto endurecido, eflorescencia, contribución a la corrosión del acero, cambios volumétricos, etc.

Curiosamente, ni el ACI ni la ASTM establecen requisitos para el agua de mezcla para concreto, sin embargo, en una iniciativa realmente importante, la norma nacional ITINTEC 339.088 sí establece límites para agua de mezcla y curado y que se detallan en la tabla 4, en el cual se consignan algunos análisis de agua empleada en la preparación de concreto en proyectos ejecutados en diferentes regiones de nuestro país, donde se pueden apreciar las variaciones factibles de esperarse en cuanto a la composición. (Pasquel, Noviembre 1998).

Tabla 4: Límites permisibles para agua de mezcla y de curado según la norma ITINTEC

Descripción	Límite Permisible		
Sólidos en suspensión	5000	p.p.m	maximo
Materia orgánica	3	p.p.m	maximo
Alcalinidad	1000	p.p.m	maximo
Sulfato	600	p.p.m	maximo
Cloruros	1000	p.p.m	maximo
Grado de acidez (PH)	5 a 8		

Fuente: Pasquel, E. (1998). Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú.



El criterio que establece la norma ITINTEC 339.088 y el comité ACI-318 para evaluar la habilidad de determinada agua para emplearse en concreto, consiste en preparar cubos de mortero con la norma ASTM C-109 usando el agua dudosa y compararlos con cubos similares elaborados con agua potable. Si la resistencia en compresión a 7 y 28 días de los cubos con el agua en prueba no es menor del 90% de la de los cubos de control, se acepta el agua como apta para su uso en concreto. (Pasquel, Noviembre 1998)

- **Aguas prohibidas**

Está prohibido emplear en la preparación del concreto:

- Aguas ácidas.
- Aguas calcáreas; minerales; carbonatadas; o naturales.
- Aguas provenientes de minas o relaves.
- Aguas que contengan residuos industriales.
- Aguas con un contenido de cloruro de sodio mayor del 3%; o un contenido de sulfato mayor del 1%.
- Aguas que contengan algas; materia orgánica; humus; partículas de carbón; turba; azufre; o descargas de desagües.
- Aguas que contengan ácido húmico u otros ácidos orgánicos.
- Aguas con porcentajes significativos de sales de sodio o potasio disueltos, en especial en todos aquellos casos en que es posible la reacción álcali-agregado.

2.2.1.6.3 El agregado

Se definen los agregados como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente. Ocupan alrededor de las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total, luego la cantidad de estos tienen una importancia primordial en el producto final.

La denominación es relativa, porque si bien no intervienen directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, para producir el aglomerante o pasta de cemento, sus características afectan notablemente el producto resultante, siendo en algunos casos tan importantes como el cemento para el logro de ciertas propiedades particulares de resistencia, conductibilidad, durabilidad, etc.



La distribución volumétrica de las partículas tiene gran trascendencia 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 las más pequeñas ocupen los espacios entre las mayores y el conjunto este unido por la pasta de cemento. (Pasquel, Noviembre 1998)

Otro concepto es el siguiente: como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011. Los agregados son la fase discontinua del concreto. Ellos son materiales que están embebidos en la pasta y ocupan entre el 62% y el 78% de la unidad cúbica del concreto. Por su peso puede clasificarse en normal, liviano y pesado. Por su limpieza en sucio y limpio, por su granulometría en agregado fino, agregado grueso, o agregado integral también conocido como hormigón. Hoy se sabe que el agregado, debido a sus propiedades físicas, químicas y térmicas, tiene influencia determinante sobre las propiedades del concreto, especialmente su resistencia y durabilidad.

El agregado tiene un papel determinante en las propiedades del concreto, interviene en las resistencias mecánicas, la durabilidad, el comportamiento elástico, propiedades térmicas y acústicas, etc. Los agregados los mayores constituyentes del concreto, son críticos para el comportamiento de este, tanto en su estado fresco como en el endurecido. Adicionalmente sirven como un relleno de bajo costo e imparten beneficios a la mezcla, los cuales son cubiertos con detalle en este capítulo.

Los agregados pueden obtenerse a partir de rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas. La presencia o ausencia de un tipo determinado no es suficiente para definir a un agregado como adecuado o inadecuado. Debe recordarse siempre que un pobre comportamiento del concreto endurecido puede no siempre ser debido a fallas en el agregado. Por ejemplo, un sistema de vacíos inadecuado en la pasta puede dar por resultado fallas en un concreto saturado expuesto a condiciones de congelación y deshielo. Agentes químicos tales como los sulfatos, pueden causar serios deterioros aun cuando el agregado empleado sea enteramente satisfactorio. (Rivva, Diciembre 2008)

1) Funciones del agregado

Las tres principales funciones del agregado en el concreto son:



- a) Proporcionar un relleno adecuado a la pasta, reduciendo el contenido de ésta por unidad de volumen y, por lo tanto, reduciendo el costo de la unidad cúbica de concreto.
- b) Proporcionar una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste, o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- c) Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento; de humedecimiento y secado; o de calentamiento de la pasta.
(Pasquel, Noviembre 1998)

2) Interrelación agregado – concreto

Las propiedades del concreto resultan del empleo de un agregado determinado dependen de:

- a) La composición mineral de las partículas de agregado, la cual influye fundamentalmente sobre la resistencia, durabilidad y elasticidad del concreto.
- b) Las características superficiales de las partículas, las cuales influyen especialmente sobre la trabajabilidad, fluidez y consistencia del concreto; así como sobre la adherencia entre la pasta y el agregado.
- c) La granulometría de los agregados fino y grueso, definida por sí misma, así como por la superficie específica, módulo de fineza, y tamaño máximo del agregado grueso, estas propiedades influyen fundamentalmente sobre las propiedades del concreto al estado no endurecido, sobre su densidad y sobre la economía de la mezcla.
- d) El volumen de agregado por unidad de volumen del concreto, el cual influye especialmente en los cambios de volumen debidos a los procesos de humedecimiento y secado; a los procesos de calentamiento y enfriamiento; así como en el costo de la unidad cúbica de concreto.
- e) La porosidad y absorción del agregado, las cuales influyen sobre la relación agua-cemento efectiva, así como sobre las propiedades del concreto al estado no endurecido.

3) Clasificación de los agregados

Las clasificaciones que describiremos a continuación no son necesariamente las únicas ni las más completas, pero responden a la práctica usual en tecnología del concreto.



A. Por su procedencia

1) Agregados naturales

Son los formados por los procesos geológicos naturales que han ocurrido en el planeta durante miles de años, y que son extraídos, seleccionados y procesados para optimizar su empleo en la producción de concreto. En la tabla 5, se detallan las rocas y minerales que constituyen los agregados para concreto y la norma ASTM C-294 influye de manera muy detallada la nomenclatura estándar de los constituyentes de los agregados minerales naturales, que resulta muy útil para entender y describir adecuadamente dichos constituyentes. Estos agregados son los de uso más frecuente a nivel mundial y particularmente en nuestro país por su amplia disponibilidad tanto en calidad como en cantidad, lo que los hace ideales para producir concreto.

Tabla 5: Rocas y constituyentes minerales en agregados

MINERALES	ROCAS IGNEAS	ROCAS METAMORFICAS
SILICE	Granito	Marmol
Cuarzo	Sienita	Metacuarcita
Opalo	Diorita	Pizarra
Calcedonia	Gabro	Filita
Tridimita	Pendotita	Esquisto
Cristobalita	Pegmatita	Anfibolita
SILICATOS	Vidrio Volcanico	Hornfelsa
Feldespatos	Obsidiana	Gneiss
Ferromagnesianos	Pumicita	Serpentina
Hornblenda	Tafo	
Augitea	Escoria	
Arcillas	Perlita	
Hitas	Fetsita	
Caolinas	Basalto	
Mortmorillonita	ROCAS SEDIMENTARIAS	
Mica	Conglomerados	
Zaolita	Arenas	
CARBONATOS	Cuarcita	
Calcita	Arenisca	
Dolomita	Piedra Arcillosa	
SULFATOS	Piedra Aluvional	
Yeso	Arillita y Pizarra	
Anhidrita	Carbonatos	
SULFUROS DE HIERRO	Calizas	
Pirita	Dolomitas	
Marcasita	Marga	
Pirotita	Tiza	
OXIDOS DE HIERRO	Horsteno	
Magnetita		
Hemotita		
Geotita		
Ilmenita		
Limonita		

Fuente: Ing. Pasquel, E. (1998). Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú.



2) Agregados artificiales

Proviene de un proceso de transformación de materiales naturales, que proveen productos secundarios que con un tratamiento adicional se habilitan para emplearse en la producción de concreto. Algunos agregados de este tipo lo constituyen la escoria de altos hornos, la arcilla horneada, el concreto reciclado, micro sílice, etc. El potencial de uso de estos materiales es muy amplio, en la medida que se van desarrollando e investigando otros materiales y sus aplicaciones en concreto, por lo que a nivel mundial hay una tendencia muy marcada hacia progresar en este sentido. En nuestro país, existen zonas como por ejemplo en la Selva donde no se dispone de agregados normales para hacer concreto y la mayor de las veces se tiene que improvisar soluciones que no garantizan el material resultante. (Pasquel, Noviembre 1998).

B. Por su tamaño

De acuerdo a su tamaño, los agregados se clasifican en:

- Agregado fino.
- Agregado grueso.

La norma define como agregado fino aquel que pasa íntegramente por el Tamiz de 3/8" y como mínimo en un 95% el tamiz N°4, quedando retenido en el tamiz N°200. Se define como agregado grueso a aquel que queda retenido como mínimo, en un 95% en el tamiz N°4.

C. Por sus propiedades

Por la contribución de sus propiedades físicas a la calidad del concreto, el agregado puede clasificarse en cuatro categorías:

- Agregado bueno.
- Agregado satisfactorio.
- Agregado regular.
- Agregado pobre.

D. Por su perfil

De acuerdo a su perfil las partículas de agregado comprenden siete grupos:

- Redondeado.
- Irregular.



- Laminado.
- Angular.
- Semiangular o semiredondeado.
- Elongado.
- Laminado y elongado. (Rivva, Diciembre 2008).

4) Características físicas del agregado

En general son primordiales en los agregados las características de densidad, resistencia, porosidad y la distribución volumétrica de las partículas, que se acostumbra denominar granulométrica o gradación (Pasquel, Noviembre 1998).

Asociadas a estas características se encuentran una serie de ensayos o pruebas estándar que miden estas propiedades para compararlas con valores de referencia establecidos o para emplearlos en el diseño de mezclas. Es importante para evaluar estos requerimientos el tener claro los conceptos relativos a las siguientes características físicas de los agregados y sus expresiones numéricas:

A. Condiciones de saturación

En la figura 7 se han esquematizado las condiciones de saturación de una partícula ideal de agregado, partiendo de la condición seca hasta cuando tiene humedad superficial, pudiéndose asimilar visualmente los conceptos de saturación en sus diferentes etapas, que servirán durante el desarrollo del presente capítulo.

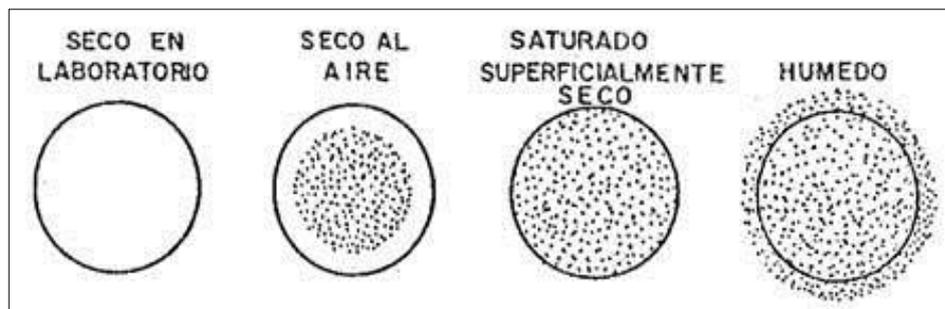


Figura 7: Estados de saturación del agregado

Fuente: <https://civilgeeks.com/2011/12/08/caracterizas-fisicas-de-los-agregados/>, s.f.



B. Peso unitario

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos, al incluir los espacios entre partículas, está influenciado por la manera en que se acomodan estas, lo que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo. La norma ASTM C-29, define el método estándar para evaluarlo, en la condición de acomodo de las partículas luego de compactarlas en un molde metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de 5/8" en 3 capas. El valor obtenido, es el que se emplea en algunos métodos de diseño de mezclas para estimar las proporciones y también para hacer conversiones de dosificaciones en peso a dosificaciones en volumen. El valor del peso unitario para agregados normales oscila entre 1,500 y 1,700 kg/m³.

C. Porcentaje de vacíos

Es la medida del volumen expresado en porcentajes de los espacios entre las partículas de agregados. Depende también del acomodo entre partículas, por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario. La misma norma ASTM C-29 indicada anteriormente establece la fórmula para calcularlo, empleando los valores de peso específico y peso unitario estándar:

$$\%deVacios = 100 \left[\frac{(S \times W) - M}{S \times W} \right]$$

Dónde:

S = Peso específico de masa, en gr/cm³.

W = Densidad del agua, en kg/m³.

M = Peso unitario compactado seco, en kg/m³.

D. Absorción

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente los poros indicados pues siempre queda aire atrapado. Tiene importancia pues se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias.



La norma ASTM C-127 y 128 establecen la metodología para su determinación expresada en la siguiente fórmula:

$$\%deAbsorción = \frac{PesoS.S.S - PesoSeco}{PesoSEco}$$

Donde:

Psss = Peso de la muestra saturada y superficialmente seca, en gr.

Ps = Peso seco de la muestra, en gr.

E. Porosidad

Es el volumen de espacios dentro de las partículas de agregados. Tiene una gran influencia en todas las demás propiedades de los agregados pues es representativa de la estructura interna de las partículas. No hay un método estándar en ASTM para evaluarla, sin embargo, existen varias formas de determinación por lo general complejas y cuya validez es relativa. Una manera indirecta de estimar es mediante la determinación de la absorción, que da un orden de magnitud de la porosidad normalmente un 10% menor que la real, ya que como hemos indicado en el párrafo anterior, nunca llegan a saturarse completamente todos los poros de las partículas. Los valores usuales en agregados normales pueden oscilar entre 0 y 15% aunque por lo general el rango común es del 1 al 5%. En agregados ligeros, se pueden tener porosidades del orden del 15 al 50%.

$$\% de Porosidad = \frac{dr - da}{da} \times 100$$

Donde:

dr = Densidad real, en gr/cm³.

da = Densidad aparente, en gr/cm³.

F. Humedad

Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado. Es una mezcla característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el



proporcionamiento de las mezclas, para que se cumplan las hipótesis asumidas. La humedad se expresa de la siguiente manera según ASTM C-566.

$$\%deHumedad = \frac{PesoOriginalde la Muestra - PesoSeco}{PesoSeco} \times 100$$

Donde:

POM = Peso original de la muestra, en gr.

PS = Pesos seco, en gr.

G. Análisis granulométrico.

Tomando en cuenta que hemos hablado sobre la forma irregularmente geométrica de las partículas de agregados, es obvio que no es simple establecer un criterio numérico individual para definir el tamaño de cada partícula midiendo sus dimensiones. Como sería sumamente difícil medir el volumen de los diferentes tamaños de partículas se usa una manera indirecta, cual es tamizarlas por una serie de mallas de aberturas conocidas y pesar los materiales retenidos refiriéndolos en % con respecto al peso total. A esto es lo que se denomina análisis granulométrico o granulometría, que es la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños. Los valores hallados se representan gráficamente en un sistema coordinado semilogarítmico que permite apreciar la distribución acumulada. La serie de tamices estándar ASTM para concreto tiene la particularidad de que empieza por el tamiz de abertura cuadrada 3" y el siguiente tiene una abertura igual a la mitad de la anterior. A partir de la malla 3/8" se mantiene la misma secuencia, pero el nombre de las mallas se establece en función del número de aberturas por pulgada cuadrada.

En la tabla 6 se consignan los tamices estándar ASTM C-33, otro concepto importante es el del tamaño máximo, que en términos generales significa el menor tamiz por el que pasa todo el agregado tamizado. Se define operativamente como Tamaño máximo nominal el correspondiente al menor tamiz que produce el primer retenido.



Tabla 6: Tamices estándar ASTM C-33

DENOMINACIÓN DEL TAMIZ	ABERTURA EN PULGADAS	ABERTURA EN MILÍMETROS
3"	3.0000	75.0000
1 1/2"	1.5000	37.5000
3/4"	0.7500	19.0000
3/8"	0.3750	9.5000
Nº 4	0.1870	4.7500
Nº 8	0.0937	2.3600
Nº 16	0.0469	1.1800
Nº 30	0.0234	0.5900
Nº 50	0.0117	0.2950
Nº 100	0.0059	0.1475
Nº 200	0.0029	0.0737

Fuente: Ing. Pasquel, E. (1998). Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú.

El significado práctico del análisis granulométrico de los agregados estriba en que la granulometría influye directamente en muchas propiedades del concreto fresco, así como en algunas del concreto endurecido, por lo que interviene como elemento indispensable en todos los métodos de diseño de mezclas. (Pasquel, Noviembre 1998)

H. El módulo de fineza

En la búsqueda de caracterizaciones numéricas que representaran la distribución volumétrica de las partículas de agregados, se definió hace muchos años el módulo de fineza. Es un concepto sumamente importante establecido por Duff Abrams en el año 1925 y se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie standart hasta el tamiz Nº100 y esta cantidad se divide entre 100. El sustento matemático del módulo de fineza reside en que es proporcional al promedio logarítmico del tamaño de partículas de una cierta distribución granulométrica. La base experimental que apoya al concepto de módulo de fineza es que granulometrías que tenga igual M.F. independientemente de la gradación individual, requiere la misma cantidad de agua para producir mezclas de concreto de similar plasticidad y resistencia lo que lo convierte en un parámetro ideal para el diseño y control de mezclas. (Pasquel, Noviembre 1998)

También podemos definir que es un índice aproximado del tamaño medio de los agregados. Cuando este índice es bajo quiere decir que el agregado es fino, cuando es



alto es señal de lo contrario. El módulo de fineza, no distingue las granulometrías, pero en caso de agregados que estén dentro de los porcentajes especificados en las normas granulométricas, sirve para controlar la uniformidad de los mismos.

El módulo de fineza de un agregado se calcula sumando los porcentajes acumulativos retenidos en la serie de mallas estándar: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100 y dividiendo entre 100. (Abanto, 2005)

5) Características resistentes

Están constituidas por aquellas propiedades que le confieren la capacidad de soportar esfuerzos o tensiones producidos por agentes externos. (Pasquel, Noviembre 1998)

A. Resistencia

Capacidad de asimilar la aplicación de fuerzas de compresión, corte, tracción y flexión, normalmente se mide por medio de la resistencia en compresión, para lo cual se necesita ensayar testigos cilíndricos o cúbicos de tamaño adecuado al equipo de ensayo, que se perforan o cortan de una muestra lo suficientemente grande. La resistencia en compresión esta inversamente relacionada con la porosidad y la absorción y directamente con el peso específico. Agregados normales con peso específico entre 2.5 a 2.7, tienen resistencias en compresión del orden de 750 a 1,200 kg/cm².

Los agregados ligeros con peso específico entre 1.6 a 2.5, usualmente manifiestan resistencias de 200 a 750 kg/cm². La resistencia del agregado condiciona en gran medida la resistencia del concreto, por lo que es fundamental el evaluarla directa o indirectamente cuando se desea optimizar la calidad de los concretos.

B. Tenacidad

Se denomina en general a la resistencia al impacto. Está más relacionada con la sollicitación en flexión que en compresión, así como con la angularidad y aspereza de la superficie. Tiene trascendencia en las propiedades del concreto ante impactos, que son importantes en términos prácticos, al momento de evaluar las dificultades en el procesamiento pro chancado del material su eliminación es más cualitativa que cuantitativa.



C. Dureza

Es la resistencia al desgaste por la acción de unas partículas sobre otras o por agentes externos. En los agregados para concreto se cuantifica por medios de la resistencia a la abrasión en la máquina de los ángeles, que consta de un cilindro metálico donde se introduce el agregado conjuntamente con 12 esferas de acero de 46.8mm de diámetro y entre 390 y 445 gr. de peso cada una con un peso total de 500 + 25 gr haciéndose girar en conjunto un cierto número de revoluciones (100 o 500) que provoquen el roce entre partículas y de las esferas sobre la muestra provocando el desprendimiento superficial de material el cual se mide y expresa en porcentaje. Las normas ASTM aplicables son la C-131 y C-535.

6) Agregado fino

Se define como agregado fino a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el tamiz 9.4 mm (3/8") y cumple con los límites establecidos en las normas NTP 400.037 ó ASTM C 33.

A. Requisitos

El agregado podrá consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias; de perfil preferentemente angular, duras, compactas y resistentes; libres de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas para el concreto. (Rivva, Naturaleza y Materiales del Concreto, Diciembre 2000)

B. Granulometría

La granulometría es la distribución de tamaños de las partículas de arena. La distribución del tamaño de partículas se determina por separación con una serie de mallas canalizadas. Las mallas normalizadas utilizadas para el agregado fino son las N°4, 8, 16, 30, 50 y 100.

El Reglamento Nacional de Edificaciones especifica la granulometría de la arena en concordancia con las normas, del ASTM. El control de la granulometría se aprecia mejor mediante un gráfico, en la que las ordenadas representan el porcentaje acumulado que pasa la malla, y las abscisas, las aberturas correspondientes. La Figura 8 representa las curvas envolventes de la norma. (Abanto, 2005)



La norma ASTM, exceptúa los concretos preparados con más de 300 kg/m³ de los porcentajes requeridos para el material que pasa las mallas N°50 y N°100 que en este caso puede reducirse a 5% y 0% respectivamente. Esta posición se explica porque el mayor contenido de cemento contribuye a la elasticidad del concreto y la compacidad de la pasta, función que cumple el agregado más fino.

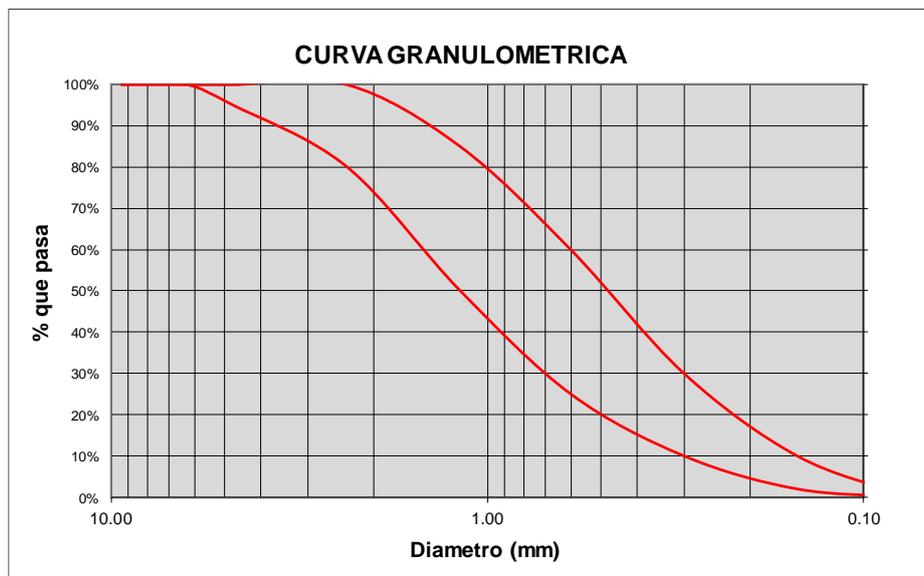


Figura 8: Curvas envolventes de la norma ASTM

Fuente: Ing. Abanto, F. (2005). Tecnología del Concreto.

Además, la norma prescribe que la diferencia entre el contenido que pasa una malla y el retenido en la siguiente, no debe ser mayor del 45% del total de la muestra. De esta manera, se tiende a una granulometría más regular. Para que el concreto tenga una adecuada trabajabilidad, las partículas de agregado grueso deben estar espaciadas de manera tal que puedan moverse con relativa facilidad, durante los procesos de mezclado y colocación. En este sentido, el agregado fino actúa como lubricante del agregado grueso, ayudándolo a distribuir en toda su masa.

C. Requisitos de uso

- El agregado fino será arena natural. Sus partículas serán limpias, de perfiles preferentemente angulares, duros, compactos y resistentes.
- El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias perjudiciales.



- Debe cumplir las normas sobre su granulometría.
- Se recomienda que las sustancias dañinas, no excedan los porcentajes máximos siguientes:

1) Partículas deleznable: 3%

2) Material más fino que la malla N°200: 5%. (Abanto, 2005)

La granulometría seleccionada será preferentemente uniforme y continuo, con valores retenidos en las mallas N°4 a N°100 de la Serie Tyler. (Rivva, Naturaleza y Materiales del Concreto, Diciembre 2000). Se recomiendan para el agregado los siguientes límites:

Tabla 7: Límites de granulometría según el A.S.T.M C-33

PORCENTAJE QUE PASA	MALLA
100	3/8" (9,50 mm)
95 a 100	N° 4 (4.75 mm)
80 a 100	N° 8 (2.36 mm)
50 a 85	N° 16 (1.18 mm)
25 a 60	N° 30 (600 micrones)
10 a 30	N° 50 (300 micrones)
2 a 10	N° 100 (150 micrones)

Fuente: Ing. Abanto, F. (2005). Tecnología del Concreto.

Preferentemente el módulo de fineza no deberá ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1 debiendo ser mantenido dentro de los límites de más o menos 0.2 del valor asumido para la selección de las proporciones de la mezcla. Si se sobrepasa el valor asumido, por exceso o por defecto, la Supervisión podrá autorizar reajustes en las proporciones de la mezcla o rechazar el agregado, para compensar las variaciones en la granulometría. Estos ajustes no deberán significar reducción en el contenido de cemento. Adicionalmente, en relación con su granulometría, el agregado fino deberá:

- a) Contener suficiente cantidad de material que pasa la malla N°50 a fin de obtener en el concreto adecuada trabajabilidad, ello especialmente en mezclas con pastas pobres.
- b) Tener un máximo de 3% a 5% de material que pasa la malla N°200. No se confundirá los finos del agregado con el limo, la marga u otras impurezas indeseables.
- c) Emplear un agregado grueso con poco o ningún material en las mallas.



- d) N°4 y N°8 en aquellos casos en que el agregado fino tiene un porcentaje importante en esas mallas, a fin de evitar un concreto áspero, granulosos de acabado difícil.
- e) Evitar emplear, salvo que las circunstancias del entorno obliguen a ello, como en el caso de la selva baja peruana, agregado excesivamente fino.
- f) Recordar que los límites permisibles para el agregado fino dependen en alguna forma del perfil y características superficiales de las partículas.

D. Partículas inconvenientes

La cantidad de sustancias deletéreas o partículas inconvenientes presentes en el agregado fino no deberá exceder de los siguientes límites, expresados como porcentaje en peso de la muestra total:

- Lentes de arcilla y partículas desmenuzables 3.0%.
- Material más fino que la malla N°200:
 - a) Concreto sujeto a abrasión 3.0%.
 - b) Todos los otros concretos 5.0%.
- Carbón y Lignito:
 - a) Cuando la apariencia superficial del concreto es importante 0.5%.
 - b) Otros concretos 1.0%.
- Mica 0.0%.
- Partículas deleznable 3.0%.

E. Materia orgánica

El agregado no deberá indicar presencia de materia orgánica. No deberá emplearse agregados que en el ensayo de la norma ASTM C 40 o NTP 400.013 den una coloración mayor del N°1, excepto si:

- a) La coloración en el ensayo se debe a la presencia de muy pequeñas cantidades de carbón; lignito o partículas similares.
- b) Realizado el ensayo a que se refiere la norma ASTM C 87, la resistencia a la compresión a los 7 días, de morteros preparados con dicho agregado, no es menor del 95% de la de morteros similares preparados con otra porción de la misma muestra de agregado previamente lavada con una solución al 3% de hidróxido de sodio de acuerdo a los requisitos de la norma NTP 400.013 ó ASTM C 33.



7) El agregado grueso

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75 mm (N°4) y que cumple con los límites establecidos en las normas ITINTEC 400.037 o ASTM C 33. (Rivva, Naturaleza y Materiales del Concreto, Diciembre 2000)

El agregado puede ser grava, piedra chancada, etc.

A. Gravas

Comúnmente llamados “canto rodado”, es el conjunto de fragmentos pequeños de piedra provenientes de la disgregación natural de las rocas, por acción del hielo y otros agentes atmosféricos, encontrándoseles corrientemente en canteras de lechos de ríos depositados de forma natural. Cada fragmento ha perdido sus aristas vivas y se presentan en forma más o menos redondeadas, las gravas pesan de 1600 a 1700 kg/m³.

B. Piedra partida o chancada

Se denomina así, al agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas. Como agregado grueso se puede usar cualquier clase de piedra partida siempre que sea, limpia, dura y resistente. Su función principal es la de dar volumen y aportar su propia resistencia. Los ensayos indican que la piedra chancada o partida de concretos ligeramente más resistentes que los hechos con piedra redonda. El peso de la piedra chancada se estima en 1450 a 1500 kg/cm³. (Abanto, 2005).

C. Características

El agregado grueso puede consistir de piedra partida, grava natural o triturada, agregados metálicos naturales o artificiales, concreto triturado, o una combinación de ellos. Estará conformado por partículas cuyo perfil sea preferentemente angular o semiangular, limpias, duras, compactas, resistentes, de textura preferentemente rugosa, y libres de material escamoso o partículas blandas. Las partículas deberán ser químicamente estables y estarán libres de escamas, tierra, polvo, limo, sales, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, u otras sustancias dañinas.

D. Granulometría

El agregado grueso estará graduado dentro de los límites especificados en las normas NTP 400.037 o ASTM C 33. La granulometría seleccionada deberá ser



preferentemente continua y deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla. La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 1/2" y no más del 6% del agregado que pasa la malla de 1/4". Si se emplea dos o más tamaños de agregado grueso, cada uno de ellos, así como la combinación de los mismos, deberá cumplir con los requisitos de las normas NTP 400.037.

E. Tamaño máximo

De acuerdo a la norma NTP 400.037 el tamaño máximo del agregado grueso es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa la muestra de agregado grueso. Granulometrías muy disímiles pueden dar el mismo valor del tamaño máximo del agregado grueso. Ello debe tenerse presente en la selección del agregado, de su granulometría y las proporciones de la mezcla. (Rivva, Naturaleza y Materiales del Concreto, Diciembre 2000)

F. Tamaño máximo nominal

De acuerdo a la norma NTP 400.037 se entiende por tamaño máximo nominal al que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido. El tamaño máximo de los agregados gruesos en el concreto armado se fija por la exigencia de que pueda entrar fácilmente en los encofrados y entre las barras de armadura. En ningún caso el tamaño máximo del agregado deberá ser mayor que:

- Un quinto, de la menor dimensión, Entre las caras de los encofrados.
- Un tercio de la altura de las losas.
- Tres cuartos del espacio libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, cables o ductos de refuerzo.

Estas limitaciones están dirigidas a que las barras de refuerzo queden convenientemente recubiertas y no se presenten cavidades de las llamadas "cangrejeras". Sin embargo, pueden omitirse por excepción, si el ingeniero responsable comprueba que los métodos de puesta en obra y la trabajabilidad del concreto lo permiten. Se considera que, cuando se incrementa el tamaño máximo del agregado, se reducen los requerimientos del agua de mezcla, incrementándose la resistencia del concreto. En general este principio es válido con agregados hasta 1 1/2". En tamaños mayores, solo es aplicable a concretos con bajo contenido de cementos.



2.2.1.6.4 Ensayo de los agregados

A. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

En base a la Norma Técnica Peruana NTP 400.012, y la norma MTC E-204 (MTC, 2016) da a conocer los objetivos y recomendaciones que se tomó en cuenta al realizar este ensayo:

Objetivos:

- Se estableció los requisitos de gradación y calidad en el agregado fino y grueso, para uso en el concreto.
- Se observó si el agregado se encuentra dentro de los límites para el diseño de mezclas
- Se determinó el porcentaje de paso de los diferentes tamaños del agregado, y con estos datos construir la curva granulométrica estandarizada.
- Se observó si los agregados se encuentran dentro de las normas establecidas para la fabricación del concreto.
- Se reconoció el procedimiento para la selección correcta de los agregados gruesos, para un buen diseño de mezclas y una buena ejecución.

Finalidad y alcance:

Se aplico para determinar la gradación de materiales propuestos para uso como agregados o los que están siendo usados como tales. Los resultados fueron usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos exigidos en la especificación técnica de la obra y proporcionar datos necesarios para el control de producción de agregados.

La determinación del material que pasa el tamiz de 75 μm (N° 200) no se obtiene por este ensayo. El método de ensayo a emplear fue: "Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 μm (N° 200) por lavado" (MTC E 202).

Recomendaciones:

- a) Las muestras para el ensayo se obtuvieron por medio de cuarteo, manual.
- b) El agregado estuvo completamente mezclado con la suficiente humedad para evitar la segregación y la pérdida de finos.
- c) El tamaño de muestras a ensayar fue obtenido mediante las siguientes consideraciones:



1) Agregados finos:

- a) Agregados en que por lo menos el 95% pasa el tamiz de 8.36 mm (No. 8), se ensayó con 100 gr. de muestra.
- b) Agregados en que por lo menos el 85% pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4), y más del 5% queda retenido en el tamiz de 2.36 mm (No. 8) se ensayarán 500 gr. de muestra.

2) Agregados gruesos:

Las muestras de agregado grueso para el análisis granulométrico, después de secadas, deberán tener aproximadamente los siguientes pesos:

Tabla 8: Cantidad mínima de muestra de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada		Cantidad mínima de muestra de ensayo
mm	(pulg)	Kg
9,5	(3/8)	1
12,5	(1/2)	2
19,0	(3/4)	5
25,0	(1)	10
37,5	(1 1/2)	15
50,0	(2)	20
63,0	(2 1/2)	35
75,0	(3)	60
90,0	(3 1/2)	100
100,0	(4)	150
125,0	(5)	300

Fuente: Manual de ensayos de materiales.

B. Peso unitario y porcentaje de vacíos en los agregados

En base a la Norma Técnica Peruana NTP 400.017, y la norma MTC E-203 (MTC, 2016) da a conocer los objetivos y recomendaciones que se debe tener en cuenta al realizar este ensayo:

Objetivo:

Determinar el peso unitario suelto o compactado y el porcentaje de los vacíos de los agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos. El método se aplica a agregados de tamaño máximo nominal de 150 mm (6”).



Finalidad y alcance:

Se utilizó siempre para determinar el valor del peso unitario utilizado por algunos métodos de diseño de mezclas de concreto. También se utilizó para determinar la relación masa/volumen para conversiones en acuerdos de compra donde se desconoce la relación entre el grado de compactación del agregado en una unidad de transporte o depósito de almacenamiento (que usualmente contienen humedad superficial absorbida) y los llevados a cabo por este ensayo que determina el peso unitario seco.

Recomendaciones:

Se uso la siguiente fórmula para determinar los vacíos de los agregados:

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{(A \times W) - B}{A \times W}$$

Donde:

A = Peso específico aparente según los procedimientos del MTC E205, (kg/m³).

B = Peso unitario de los agregados, (kg/m³).

W = Peso unitario del agua, (kg/m³).

C. Gravedad específica y absorción de agregados finos

En base a la Norma Técnica Peruana NTP 400.022, y la norma MTC E-205 (MTC, 2016) da a conocer los objetivos y recomendaciones que se debe tener en cuenta al realizar este ensayo.

Objetivo:

Este método determina la densidad media de una cantidad de partículas de agregado fino, el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado fino.

Finalidad y alcance:

El peso específico (gravedad específica) es la característica generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados incluyendo concreto de cemento Portland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas en base al volumen. También es usado en el cálculo de vacíos en el agregado del ensayo MTC E 203.



El peso específico aparente y peso específico relativo aparente atañen al material sólido de las partículas constituyentes que no incluyen el espacio poroso dentro de ellas que es accesible al agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología de agregados de construcción.

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida entre los espacios de los poros entre las partículas constituyentes, comparado a la condición seca, cuando es estimado que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente para satisfacer la mayor absorción potencial.

Se aplica para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción de agregado fino, a fin de usar estos valores tanto en el cálculo y corrección de diseños de mezclas, como en control de uniformidad de las características físicas. No es aplicable para agregados ligeros por cuanto la inmersión en agua por 24 horas no asegura que los poros se llenen completamente, lo cual es un requisito necesario para poder aplicar el ensayo eficientemente.

Recomendaciones:

Se uso la siguiente fórmula para determinar los datos necesarios:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B + S - C}$$

$$\text{Peso específico aparente (S.S.S.)} = \frac{A}{B + S - C}$$

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Donde:

A = Peso al aire de la muestra desecada, (gr).

B = Peso del picnómetro aforado lleno de agua, (gr).

C = Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua, (gr).

S = Peso de la muestra saturada, con superficie seca, (gr).



D. Gravedad específica y absorción de agregados gruesos

En base a la Norma Técnica Peruana NTP 400.021, y la norma MTC E-206 (MTC, 2016) da a conocer los objetivos y recomendaciones que se debe tener en cuenta al realizar este ensayo.

Objetivo:

Establecer un procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) del agregado grueso. El peso específico saturado con superficie seca y la absorción requieren agregados sumergidos en agua después de 24 horas.

Finalidad y alcance:

La muestra de agregado se sumergió en agua por 24 horas aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retiró del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesó posteriormente mientras es sumergida en agua. Finalmente, la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y fórmulas en este modo operativo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción.

Recomendaciones:

Se uso la siguiente fórmula para determinar los datos necesarios:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Peso específico aparente (S.S.S.)} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

A = Peso al aire de la muestra desecada, (gr).

B = Peso de la muestra saturada con superficie seca, (gr).

C = Peso en el agua de la muestra saturada, (gr).



Se mezcló completamente los agregados, cuarteándolos a continuación, hasta obtener aproximadamente la cantidad mínima necesaria para el ensayo, después de eliminar el material inferior a 4.75 mm (N°4), las cantidades mínimas para ensayo se indican en la siguiente tabla que está en función del tamaño máximo nominal del agregado.

Tabla 9: Peso mínimo de la muestra para gravedad específica de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 ½)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 ½)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 ½)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

Fuente: Manual de ensayos de materiales.

2.2.1.7 Diseño de mezclas

2.2.1.7.1 Información necesaria

En la selección de las proporciones de la mezcla de concreto es necesario conocer, además de las propiedades que se requieren y del empleo que se va a dar al concreto, así como las características geográficas y ambientales de la zona en la cual va ser utilizado, información básica sobre las propiedades de los materiales integrantes del concreto.

A. Cemento

En el caso del cemento es importante conocer:

- Tipo y marca del cemento seleccionado.
- Peso específico del cemento.
- Peso específico del material puzolánico si se trata de un cemento combinado.

B. Agua

- En el caso del agua, se empleó agua potable.
- Análisis químico del agua.



C. Agregados

En el caso de los agregados fino y grueso es importante conocer:

- Análisis granulométrico.
- Peso específico.
- Peso unitario suelto y compactado.
- Porcentaje de absorción y contenido de humedad.
- Perdida por abrasión, si el agregado va a ser empleado en concreto para pavimentos.
- Presencia de materia orgánica.

D. Aditivos

Si se emplea aditivos en la mezcla es importante conocer:

- Tipo y marca de aditivo.
- Fecha de vencimiento.
- Efecto sobre las propiedades del concreto.
- Recomendaciones de empleo proporcionadas por el fabricante. (Rivva 2007)

2.2.1.7.2 Diseño de mezclas según el método del American Concrete Institute

1. **Selección de la resistencia.** - A partir de la resistencia en compresión específica y la desviación estándar.

Tabla 10: Resistencia promedio a la compresión cuando existen datos para establecer la desviación estándar

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, Mpa
$f'c \leq 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones 1 y 2: $f'cr = f'c + 1,34 Ss$ (1) $f'cr = f'c + 2,33 Ss - 3,5$ (2)
$f'c > 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones 1 y 3: $f'cr = f'c + 1,34 Ss$ (1) $f'cr = 0,90 f'c + 2,33 Ss$ (3)

Fuente: MVCS & Sencico. (2009). Norma E-060 "Concreto Armado".



Cuando no se cuenta con un registro de resultados de ensayos que posibiliten el cálculo de la desviación estándar, la resistencia promedio requerida debe ser determinada empleando los valores del siguiente cuadro:

Tabla 11: Resistencia promedio a la compresión cuando no hay datos para establecer la desviación estándar

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia Promedio requerida a la compresión, MPa
$f^{\prime}c < 21$	$f^{\prime}cr = f^{\prime}c + 7,0$
$21 \leq f^{\prime}c \leq 35$	$f^{\prime}cr = f^{\prime}c + 8,5$
$f^{\prime}c > 35$	$f^{\prime}cr = 1,1f^{\prime}c + 5,0$

Fuente: MVCS & Sencico. (2009). Norma E-060 “Concreto Armado”.

2. Selección del asentamiento. -La consistencia es aquella propiedad del concreto que define el grado de humedad de la mezcla. De acuerdo a su consistencia las mezclas de concreto las clasificamos en:

- **Mezclas secas:** Aquellas cuyo asentamiento esta entre cero y dos pulgadas (0 mm a 50mm).
- **Mezclas plásticas:** Aquellas cuyo asentamiento esta entre tres y cuatro pulgadas (75mm a 100 mm).
- **Mezclas fluidas:** Aquellas cuyo asentamiento esta entre cinco a más pulgadas (mayor a 125 mm).

De todos ellos se considera que el ensayo de determinación del asentamiento, medido con el Cono de Abrams, es aquel que da una mejor idea de las características de la mezcla de concreto.

3. Establecimiento de la cantidad de agua por m³ de concreto. - En función de las condiciones de trabajabilidad, el tamaño máximo de los agregados y ocasionalmente el tipo de cemento.



Tabla 12: Cantidades aproximadas de agua de amasado y contenido de aire

Slump	Tamaño máximo de agregado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	226	216	202	190	178	160
% aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154
% de aire incorporado en función del grado de exposición								
Normal	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Moderada	8.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Extrema	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

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

4. **Definición de la relación agua/cemento en peso.** - En base a la resistencia en compresión solicitada o requisitos de durabilidad.

Tabla 13: Relación agua-cemento según resistencia a compresión

f'c a 28 Dias (kg/cm ²)	Relacion agua/Cemento en peso	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
450	0.36	...
4000	0.42	...
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.6
150	0.79	0.7

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

5. **Cálculo de la cantidad de cemento en peso.** - En función de la relación agua/cemento y la cantidad de agua.

$$\text{Cemento (Kg)} = \frac{\text{Peso del agua (Kg)}}{\text{Relacion A/C}}$$



6. Cálculo de los volúmenes absolutos del agua y el cemento:

$$\text{Vol. Abs. Cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso del cemento (Kg)}}{\text{Peso específico cemento (}\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\text{)}}$$

$$\text{Vol. Abs. Agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso del agua (Kg)}}{\text{Peso específico agua (}\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\text{)}}$$

7. Obtención del volumen absoluto del agregado grueso. - Se determinan también en la tabla 14 en donde influye el tamaño máximo nominal, y el módulo de fineza del agregado fino.

Tabla 14: Volumen de agregado grueso compactado en seco para diversos módulos de fineza de la arena

Tamaño máximo de agregado	Volumen de agregado grueso compactado en seco para diversos módulos de fineza de la arena			
	2.4	2.6	2.8	3.0
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.79	0.78	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

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

8. Obtención del volumen absoluto del agregado fino. - Determinado a través de la resta de 1m³ con los volúmenes hallados de cemento, agua, agregado grueso y aire.

$$\text{Vol. Fino} = 1\text{m}^3 - \text{Vol. Cemento (m}^3\text{)} - \text{Vol. Agua (m}^3\text{)} - \text{Vol. Aire (m}^3\text{)} - \text{Vol. Grueso (m}^3\text{)}$$

$$\text{Peso Piedra (Kg)} = \text{Vol. Abs. Piedra (m}^3\text{)} \times \text{Peso Especifico Piedra (}\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\text{)}$$

$$\text{Peso Arena (Kg)} = \text{Vol. Abs. Arena (m}^3\text{)} \times \text{Peso Especifico Arena (}\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\text{)}$$



9. Correcciones por humedad y absorción del diseño. – Las proporciones de los materiales que integran la unidad cubica del concreto debe ser corregida en función de las condiciones de humedad de los agregados finos y gruesos, a fin de obtener los valores a ser utilizados de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Peso Humedo Piedra (Kg)} &= \text{Peso Piedra (Kg)} \times (1 + \text{Humedad Piedra}) \\ \text{Peso Humedo Arena (Kg)} &= \text{Peso Arena (Kg)} \times (1 + \text{Humedad Arena}) \\ \text{Balance Agua en la Piedra (\%)} &= \text{Humedad Piedra} - \text{Absorcion Piedra} \\ \text{Balance Agua en la Arena (\%)} &= \text{Humedad Arena} - \text{Absorcion Arena} \\ \text{Contribucion Agua Piedra (Kg)} &= \text{Balance Piedra (\%)} \times \text{Peso Humedo Piedra (Kg)} \\ \text{Contribucion Agua Arena (Kg)} &= \text{Balance Arena (\%)} \times \text{Peso Humedo Arena (Kg)} \\ \text{Agua Final} &= \text{Agua(Kg)} - \text{Contr. Agua Piedra (Kg)} - \text{Cont. Agua Arena (Kg)} \end{aligned}$$

10. Diseño final: Colocar los valores corregidos de la siguiente forma:

- Agua final (kg)
- Peso húmedo piedra (kg)
- Peso húmedo arena (kg)
- Peso cemento (kg)

Tabla 15: Asentamientos recomendados para diversos tipos de obra

Tipo de estructura	Slump maximo	Slump minimo
Zapatas y muros de cimentacion reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclopeo	2"	1"

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



2.2.2 Aditivos

2.2.2.1 Definición

Los aditivos son ingredientes del concreto o mortero que además del agua, agregados, cemento hidráulico y en algunos casos fibra de refuerzo, son adicionados a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. (Hernandez, 2010)

2.2.2.2 Uso de aditivos

Se utilizan con el objetivo de modificar las propiedades del concreto o mortero en estado fresco, durante el fraguado o en estado endurecido, para hacerlo más adecuado según el trabajo o exigencia y para que cumpla los requisitos y especificaciones particulares de cada tipo de estructura. Las características logradas mediante el uso de los aditivos, que en muchos casos no se pueden lograr por otros métodos o en forma tan económica son las siguientes:

- Reducción del costo de la construcción de concreto.
- Aumentar las especificaciones del concreto.
- Asegurar la calidad del concreto en condiciones ambientales severas durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y curado.

La existencia del aditivo depende del tipo, la marca, la cantidad de cemento, la cantidad de agua, granulometría, proporción de los agregados, el tiempo de mezclado, el asentamiento y las temperaturas del concreto y del aire.

2.2.2.3 Propiedades del concreto con aditivos

Usualmente el concreto con aditivos es más durable, resistente y la experiencia indica que se agrieta menos que un concreto que no lo incluya. Las propiedades que se pueden modificar en el concreto fresco, durante el fraguado y en estado endurecido se enumeran a continuación:

2.2.2.3.1 En estado fresco

- Incremento de la manejabilidad para el mismo contenido de agua o disminución del contenido de agua para la misma manejabilidad.



- Reducción de la segregación por mayor cohesividad de la mezcla.
- Aumento de la bombeabilidad, lo que implica menor precisión de bombeo para un mismo flujo.
- Incremento del tiempo de manejabilidad.

2.2.2.3.2 Durante el fraguado

- Retardo o aceleramiento del fraguado del concreto.
- Retardo o reducción en la generación de calor de hidratación.
- Reducción o prevención de las grietas por contracción.
- Control de la exudación o sangrado.

2.2.2.3.3 En estado endurecido

- Incremento de resistencia en todas las edades.
- Aumento de resistencia a compresión, flexión y tracción.
- Incremento de la durabilidad o resistencia a condiciones severas de exposición.
- Disminución de la permeabilidad.
- Control de la expansión causada por la reacción álcali-agregado.

2.2.2.4 Clasificación de los aditivos

Una clasificación de aditivos en función de sus efectos no es fácil debido a que ellos pueden ser clasificados genéricamente o con relación a los efectos característicos derivados de su empleo; pueden modificar más de una propiedad del concreto; así como a que los diversos productos existentes en el mercado no cumplen las mismas especificaciones. En las clasificaciones que a continuación se presentan, aquellos aditivos que poseen propiedades identificables con más de un grupo son considerados en aquel que identifica a sus efectos más importantes, de acuerdo a la norma ASTM C 494, los aditivos se clasifican en:

- ❖ Tipo A Reductores de agua.
- ❖ Tipo B Retardadores de fragua.
- ❖ Tipo C Acelerantes.
- ❖ Tipo D Reductores de agua-retardadores de fragua.
- ❖ Tipo E Reductores de agua-acelerantes.



- ❖ Tipo F Súper reductores de agua.
- ❖ Tipo G Súper reductores de agua-acelerantes.

Existen otros tipos de clasificaciones de aditivos de acuerdo a los efectos de su empleo o a los tipos de materiales constituyentes. La recomendación ACI 212 clasifica a los aditivos en los siguientes grupos:

- Acelerantes.
- Incorporadores de aire.
- Reductores de agua y reguladores de fragua.
- Aditivos minerales.
- Productores de expansión.
- Ligantes.
- Ayudas para bombeo.
- Colorantes.
- Impermeabilizantes.
- Reductores de permeabilidad.
- Inhibidores de la corrosión.
- Superplastificantes.



Tabla 16: Clasificación de los aditivos para el concreto

Tipo de aditivo	Efecto deseado
Aditivos convencionales	
<ul style="list-style-type: none"> • Plastificantes 	Plastificar o reducir agua entre 5% y el 12%
<ul style="list-style-type: none"> • Retardantes 	Retardar el tiempo de fraguado
<ul style="list-style-type: none"> • Acelerantes 	Acelerar el fraguado y el desarrollo de la resistencia a edades tempranas
<ul style="list-style-type: none"> • Plastificantes retardantes 	Reducir el agua entre el 5% y el 12% y retardar el fraguado
<ul style="list-style-type: none"> • Plastificantes acelerantes 	Reducir agua entre el 5% y el 12% y acelerar el fraguado
<ul style="list-style-type: none"> • Superplastificantes 	Reducir el agua entre el 12 % y el 30% y retardar el tiempo de fraguado
Inclusores de aire aditivos minerales	
Aumentar la impermeabilidad y mejorar la trabajabilidad	
<ul style="list-style-type: none"> • Cementantes 	Aumentar propiedades cementantes Sustituir parcialmente el cemento
<ul style="list-style-type: none"> • Puzolanas 	Mejorar la trabajabilidad, la plasticidad, la resistencia a los sulfatos. Reducir la relación álcali-agregado, la permeabilidad y el calor. Sustituir parcialmente el cemento y rellenar.
<ul style="list-style-type: none"> • Inertes 	Mejorar la trabajabilidad y rellenar
Aditivos misceláneos	
<ul style="list-style-type: none"> • Formadores de gas 	Provocar la expansión antes del fraguado
<ul style="list-style-type: none"> • Impermeabilizantes 	Disminuir la permeabilidad
<ul style="list-style-type: none"> • Ayudas de bombeo 	Mejorar la capacidad de bombeo
<ul style="list-style-type: none"> • Inhibidores de corrosión 	Reducir el avance de la corrosión en ambientes con cloruros
<ul style="list-style-type: none"> • Colorantes 	Colorear el concreto

Fuente: Hernández, J. Tabla 6.1 libro tecnología del concreto



2.2.2.5 Aditivo Dynamon SP1

2.2.2.5.1 Descripción

Dynamon SP1 es un aditivo superplastificante de base acrílica modificada, específico para el hormigón prefabricado, perteneciente al nuevo sistema MAPEI Dynamon SP. El sistema Dynamon SP está basado en la tecnología DPP (Designed Performance Polymer), una nueva química de proceso que permite, a través del completo diseño de los polímeros (know-how exclusivo de MAPEI), modular las características del aditivo con relación a las prestaciones específicas requeridas por el hormigón. (MAPEI, s.f.)

2.2.2.5.2 Campos de aplicación

Gracias a su elevada trabajabilidad (clase de consistencia S4 o S5 según la norma EN 206-1), los hormigones producidos con Dynamon SP1 resultan de fácil colocación en obra en estado fresco y poseen elevadas prestaciones mecánicas una vez endurecidos. Dynamon SP1 es un aditivo con prestaciones superiores respecto a los superplastificantes tradicionales con base naftaleno o melamina, así como con respecto a los aditivos acrílicos de primera generación, ya sea en términos de reducción de agua como de incremento de las resistencias mecánicas en tiempos de curado breves.

Dynamon SP1 está indicado particularmente para el sector de prefabricado, y donde sea necesaria una fuerte reducción de agua acompañada por una buena aceleración de las resistencias mecánicas en tiempos de curado breves, en cualquier clase de consistencia y con una temperatura de curado superior a los 15 grados o curado acelerado.

Sus prestaciones lo hacen particularmente idóneo también para la realización de hormigones autocompactantes, ya que Dynamon SP1 es capaz de garantizar una elevada fluidez y al mismo tiempo no produce disminuciones significativas del desarrollo de las resistencias mecánicas del hormigón a edades cortas. Para los hormigones autocompactantes puede complementarse el uso de Dynamon SP1 con Viscofluid SCC o Viscofluid SCC/10, aditivos modificadores de la viscosidad, para evitar los riesgos de disgregación y garantizar la homogeneidad de las mezclas con consistencias (escurrimientos o slump-flow) muy elevadas.



Los mayores campos de aplicación de Dynamon SP1 son la producción de hormigones:

- Para la producción de vigas de hormigón armado pretensado, caracterizadas por niveles elevados de trabajabilidad y por una resistencia mecánica a compresión mínima, al corte de los cables, de 35 N/mm².
- Para la producción de tejas de cubierta de hormigón armado pretensado, caracterizados por valores elevados de trabajabilidad, por una resistencia mecánica a compresión mínima, al corte de los cables, de 35 N/mm² y excelente cara vista.
- Para la producción de paneles de cerramiento, caracterizados por un elevado grado de trabajabilidad y de acabado superficial en combinación con una excelente cara vista en obra; • autocompactante para la prefabricación. Dynamon SP1, con posibilidad de combinación con aditivos modificadores de viscosidad Viscofluid SCC o Viscofluid SCC/10, permite la obtención de hormigones autocompactantes que pueden ser colocados en obra sin ninguna vibración, con una elevada velocidad de vertido, gracias a las propiedades de fluidez y de resistencia a la disgregación.

2.2.2.5.3 Características técnicas

Dynamon SP1 es una solución acuosa al 30,5% de polímeros acrílicos de nueva generación (sin formaldehídos) capaces de dispersar eficazmente los gránulos de cemento. La acción defloculante de Dynamon SP1 puede ser ventajosamente utilizada de tres modos:

- Para reducir el agua respecto al hormigón no aditivado con la misma trabajabilidad.
- Para incrementar la trabajabilidad respecto al hormigón no aditivado con la misma relación agua/cemento.
- Para reducir el agua y el cemento de manera que la relación agua/cemento quede inalterada, así como la trabajabilidad respecto al hormigón no aditivado.

2.2.2.5.4 Modo de empleo

Dynamon SP1 desarrolla la máxima acción dispersante cuando es añadido después de los otros componentes de la mezcla (cemento, áridos, minerales y al menos un 80% del agua de la mezcla) y antes de Viscofluid SCC o Viscofluid SCC/10.



Tabla 17: Datos característicos del aditivo Mapei Dynamon SP1

DATOS IDENTIFICATIVOS DEL PRODUCTO			
Aspecto	Líquido		
Color	Ámbar		
Densidad según ISO 758 (g/cm ³)	1,09 ± 0,02 a +20°C		
Contenido en sólidos secos según EN 480-8 (%)	30,5 ± 1,5		
Acción principal	Aumento de la trabajabilidad y/o reducción del agua del amasado y rápido desarrollo de las resistencias mecánicas en tiempos de curado breves a temperatura > 15°C.		
Clasificación según UNI EN 934-2	Reductor de agua de alta eficacia, superplastificante, acelerante de endurecimiento, prospectos 3,1,3.2 y 7.		
Cloruros solubles en agua según EN 480-10 (%)	<0,1 (ausentes según EN 934-2)		
Contenido de álcalis (Na ₂ O equivalente) según EN 480-12 (%)	<3,0		
Conservación	12 meses. Proteger de las heladas		
Clasificación de peligrosidad según la directiva 199/45/CE	Ninguna. Antes del uso consultar el párrafo “Instrucciones de seguridad para la preparación y la puesta en obra” y la información recogida en el envase y en la ficha de seguridad.		
Clasificación aduanera	3824 40 00		
Dosis aditivo (% en volumen por peso de cemento)	0	0,6	1
Relación a/c	0,59	0,43	0,38
Reducción agua (%)	-	27	36
Consistencia inicial (mm)	220	230	230
Consistencia a 30” (mm)	200	200	200

Fuente: Ficha técnica Mapei Dynamon SP1.



2.2.2.5.5 Consumo

Dosificación en volumen de 0,6 a 1,2 litros por cada 100 kg de cemento para hormigones tradicionales. De 0,6 a 1,2 litros por cada 100 kg de finos (hasta 0,1 mm) para hormigones autocompactantes.

2.2.2.5.6 Almacenamiento

Dynamon SP1 se conserva durante 12 meses en recipientes cerrados y protegidos de las heladas. La exposición directa a los rayos solares puede provocar una variación cromática, sin que esto perjudique en modo alguno las prestaciones del producto.

2.2.2.5.7 Instrucciones de seguridad para la preparación y la puesta en obra

Dynamon SP1 no está clasificado como peligroso según las directivas vigentes sobre la clasificación de mezclas. Se recomienda utilizar guantes y gafas de protección y tomar las precauciones habituales para la manipulación de productos químicos.

2.2.3 Reología del concreto

2.2.3.1 Definición

La reología es la ciencia que estudia la fluidez y la deformación de la materia bajo la influencia de una fuerza mecánica. Esta definición fue adoptada en 1929 por The American Society of Rheology (Moreno Botella, 2005).

La caracterización experimental del comportamiento reológico de un material viene dada por la deformación del material como resultado de una fuerza de cizalla aplicada (Macosko, 1994).

Recientemente el uso más difundido de concretos de alto performance ha dado lugar al estudio de concreto con propiedades específicas para una aplicación. El ACI menciona algunas propiedades que son “críticas para una aplicación”: trabajabilidad, compactación, estabilidad, consistencia, compactación, etc. Los conceptos comunes abarcan todas estas propiedades en definiciones como la facilidad con que el concreto puede ser mezclado, colocado, compactado



y terminado o la habilidad del concreto para fluir, etc. Pero ninguna alcanza a definir objetivamente las propiedades del concreto, varios intentos por definir de la mejor forma las propiedades del concreto fresco se han dado algunos investigadores han dividido estas en tres principales:

- Estabilidad: Exudación y segregación.
- Compactación: Densidad.
- Movilidad: Angulo de fricción interna, adherencia y viscosidad.

Estas definiciones son subjetivas, pero enlazan las palabras comúnmente usadas con factores físicos que pueden ser medidos. Las pruebas comúnmente realizadas al concreto en estado fresco miden intrínsecamente sus propiedades reológicas, sin embargo, un mejor entendimiento de las propiedades del concreto en estado fresco es necesario para poder predecir su flujo.

La presente ponencia pretende dar a conocer los avances en el estudio del concreto en su estado fresco, a través del desarrollo de la ciencia de la reología del concreto. Así mismo mostrar el desarrollo de nuevas pruebas para la determinación de los parámetros reológicos, y los modelos propuestos para la predicción de estos. (Portugal Barriga P. A., 2003).

En el campo de la reología se examina el comportamiento de los cuerpos sólidos, líquidos e intermedios que se deforman y fluyen por efecto de las fuerzas que actúan en ellos, es decir cuerpos que tienen cierta plasticidad. Las propiedades reológicas del concreto son importantes para la industria de la construcción porque la mezcla será colocada en su estado plástico. Desafortunadamente, debido a la composición compleja de los materiales, especialmente en los concretos de alto desempeño, no existe un método definido para predecir el flujo del concreto a partir de sus componentes. Usualmente los parámetros reológicos no son de fácil medición, debido al amplio rango de tamaños de partículas encontradas en la mezcla de concreto (desde 11mm para los granos de cemento hasta 25 mm en los agregados gruesos e incluso mayores tamaños).

2.2.3.2 Definiciones reológicas del concreto en estado fresco

El concreto en estado fresco es realmente una suspensión concentrada de partículas sólidas (agregados) en un líquido viscoso (pasta de cemento), la pasta de cemento a su vez no es un



fluido homogéneo y está compuesta de partículas (granos de cemento) en un líquido (agua). Por lo tanto, el concreto en estado fresco en una escala macroscópica fluye como un líquido.

Para describir los conceptos básicos de la reología, a menudo se recurre al modelo de placas paralelas (Figura 9). En este modelo, el espacio intermedio entre las placas es ocupado por un fluido. Al aplicar una fuerza o cizalla en el plano superior, se produce un esfuerzo de cizalla (τ) que genera un régimen laminar en el que la velocidad de las capas del fluido disminuye al aumentar la distancia (Δx) con el plano cizallado. El esfuerzo de cizalla se define como la fuerza aplicada dividida por el área (A) del plano móvil superior. El esfuerzo de cizalla aplicado es proporcional al gradiente de velocidad ($\dot{\gamma}$) y sigue la ecuación de Newton (ecuación 1), donde μ es el coeficiente de viscosidad o viscosidad que es la medida de la resistencia del material a fluir y es independiente del esfuerzo o del gradiente de velocidad aplicado cuando el fluido es newtoniano. (Barnes, H.A,1989).

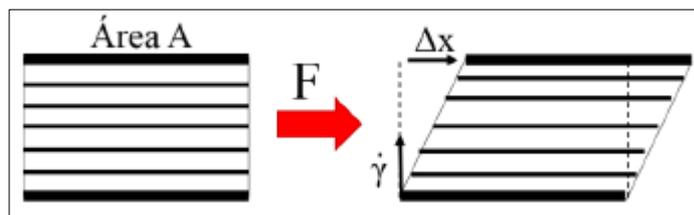


Figura 9: Perfil de velocidades de un fluido cuando se tiene un plato fijo (abajo) y una superficie móvil (arriba), modelo de placas paralelas

Fuente: Barnes, H. (1989).

Ecuación 1



$$\frac{F}{A} = \tau = \mu\dot{\gamma}$$

2.2.3.3 Modelos que describen el comportamiento reológico del concreto

El concreto en estado fresco puede ser considerado como un fluido, con tal que un cierto grado de flujo pueda ser obtenido. Esta condición puede ser definida en concretos con slump mayor a 100 mm y libres de segregación. El concreto en estado fresco es considerado como un fluido de Bingham y algunos tipos de concreto exhiben el comportamiento de un fluido de Herschel–Bulkey como el concreto auto compactado. (Portugal Barriga, 2003)



2.2.3.3.1 Modelo de Bingham

Durante los primeros estudios de reología del concreto se propuso a la ecuación de Bingham como la más apropiada para describir el comportamiento del concreto fresco, la ecuación es la siguiente:

$$\tau = \tau_0 + \mu\gamma$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante aplicado, (en Pa)

τ_0 = Esfuerzo de fluencia o de deformación inicial, (en Pa)

γ = Tasa de corte, dv/dy (gradiente de velocidad), (en S^{-1})

μ = Viscosidad plástica, (en Pa.s)

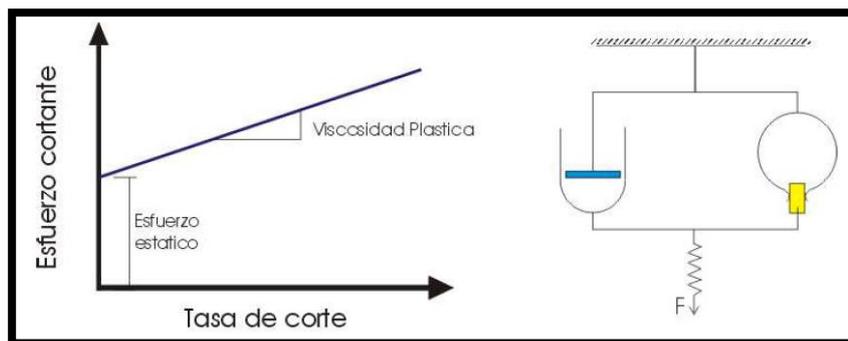


Figura 10: Modelo de Bingham, grafica de la ecuación y modelo reológico

Fuente: Portugal, A. (2003).

El modelo de Bingham es un modelo complejo y se logra combinando un elemento de Newton y otro de Hooke acoplado a una corredera de rozamiento, a la que se denomina elemento de Saint Venant como se muestra en la Figura 10. (Portugal Barriga, A. 2003).

2.2.3.3.2 Modelo Herschel-Bulkey

Algunos concretos no cumplen la función lineal de la ecuación de Bingham como es el caso de los concretos autocompactados y autonivelantes, el cual usando la ecuación de Bingham nos daría resultados de esfuerzo de fluencia negativos, en este caso particular se usa la ecuación de Herschel – Bulkley (HB). (Portugal Barriga, 2003).

$$\tau = \tau_0 + a\gamma^b$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante aplicado, (en Pa)

τ_0 = Esfuerzo de fluencia o de deformación inicial, (en Pa)

γ = Tasa de corte, (en S^{-1})

a y b = Parámetros de comportamiento.

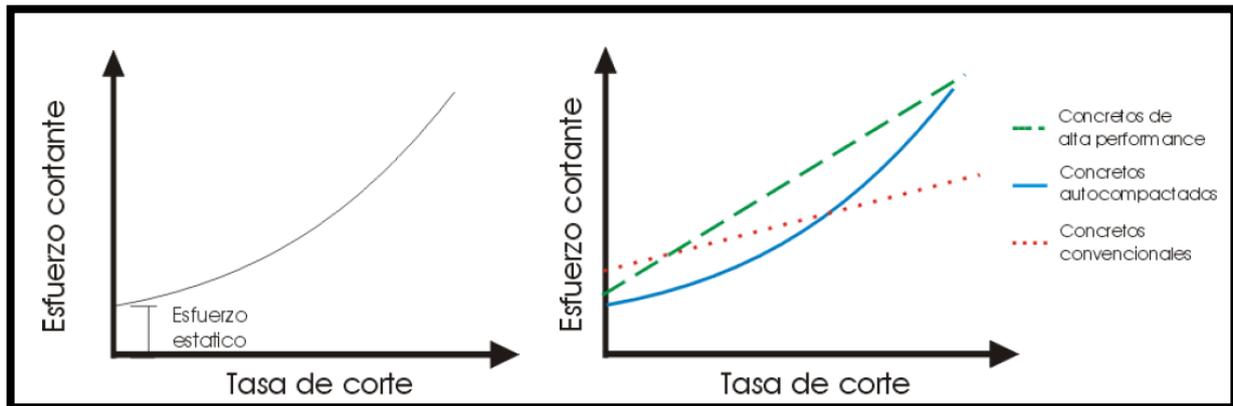


Figura 11: Gráfica de la ecuación de Herschel Bulkey y graficas características para diferentes tipos de concretos

Fuente: Portugal, A. (2003).

2.2.3.4 Factores que modifican el comportamiento reológico del concreto

Los estudios reológicos han contribuido al mayor conocimiento de las propiedades en estado fresco de los materiales a base de cemento Portland. Aunque la pasta es esencialmente agua y partículas de cemento, su comportamiento es bastante diferente a una suspensión de sólidos inertes; existen fuerzas de atracción entre las partículas que dan lugar a la formación de flóculos, poco tiempo después del contacto con el agua se producen rápidas reacciones que dan lugar a la disolución de iones y luego comienzan a formarse productos hidratados sobre las superficies de las partículas. Estas membranas que se forman en torno a los flóculos se rompen durante el mezclado lo que justifica que el esfuerzo necesario para mover el sistema vaya cambiando en función de la velocidad de deformación. (Zerbino, R., 2006)

Este fenómeno depende fuertemente de la energía de mezclado en especial en las pastas de cemento. En el hormigón la presencia de los agregados favorece el mecanismo de rotura de los flóculos disminuyendo el efecto del método de mezclado. Se ha indicado que ésta es una de las



principales dificultades para comparar la respuesta reológica entre pastas y hormigones. (Zerbino, R., 2006)

En general no es posible analizar por separado muchos de los factores ya que existen interacciones entre ellos. El contenido de agua afecta en forma notoria la viscosidad plástica y la resistencia al flujo, a mayor contenido de agua ambos parámetros se reducen en forma significativa. La mayoría de los aditivos modifican los parámetros reológicos. Los reductores de agua, en especial los superfluidificantes, reducen ligeramente la viscosidad plástica, pero disminuyen considerablemente la resistencia al flujo, este comportamiento se puede justificar en base a la dispersión de los flóculos y el aprovechamiento del agua atrapada entre los mismos. Los efectos son más notorios en mezclas con bajas relaciones agua /cemento. El aire incorporado reduce ambos parámetros, en general a medida que aumenta el contenido de aire los efectos sobre la viscosidad son menores. En el diagrama umbral de cizallamiento vs. viscosidad plástica de la figura 12, se esquematiza el efecto de los cambios en el contenido de agua, de superfluidificante y de aire incorporado. (Zerbino, R., 2006)

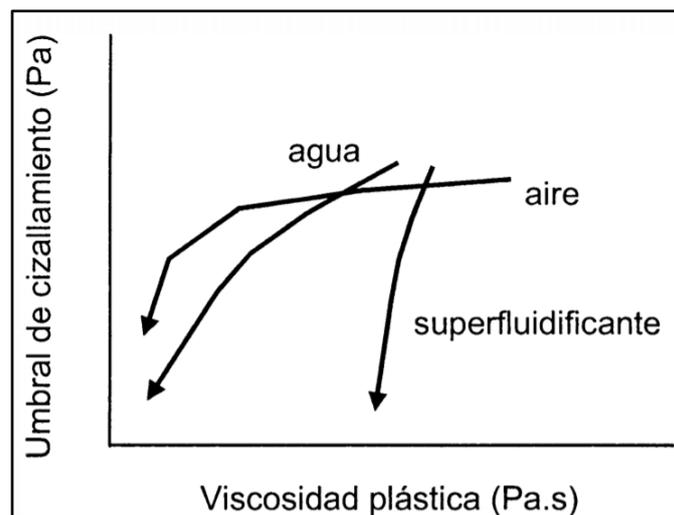


Figura 12: Efectos sobre los parámetros reológicos del incremento en el contenido de agua, superfluidificante y aire intencionalmente incorporado

Fuente: Zerbino, R. (2006).

El tipo de cemento afecta la respuesta reológica en función de los componentes que reaccionan a mayor velocidad; entre los de mayor incidencia aparecen el contenido de sulfatos y el de C3A. También se ha comprobado un efecto importante de las adiciones minerales y de los aditivos químicos. No es muy sencillo acotar el efecto del tipo de agregado, ya que cuando éste se modifica también cambian parámetros como el contenido de agua o el volumen de pasta; sin

embargo, se ha encontrado que agregados con formas redondeadas reducen significativamente la viscosidad plástica y en parte la tensión umbral. (Zerbino, R., 2006)

Para el mismo conjunto de materiales componentes existen otros factores que modifican la respuesta reológica, entre ellos se destacan el paso del tiempo y los cambios de temperatura. El fenómeno de pérdida de asentamiento en el tiempo es ampliamente conocido. En términos reológicos lo que ocurre es que se modifican la tensión umbral (t_0) y la viscosidad plástica (μ); se ha notado que los cambios son más notorios en la primera.

La reología ha posibilitado una mejor evaluación de casos de aplicación como el transporte por bombeo o la compactación por vibrado. A partir de los parámetros reológicos se han estimado las presiones de bombeo considerando longitudes y diámetros de las tuberías; también se observó que la tensión umbral disminuye notablemente cuando el hormigón es vibrado. (Zerbino, R., 2006)

La ecuación de la recta, para los fluidos newtonianos es: $\tau = \eta \frac{dv}{dy}$, donde η es el coeficiente de viscosidad. Y en el caso de los fluidos de Bingham, se les considera representados por la recta indicada, cuya ecuación es: $\tau - f = U \frac{dv}{dy}$ en donde f y U son los llamados coeficientes reológicos.

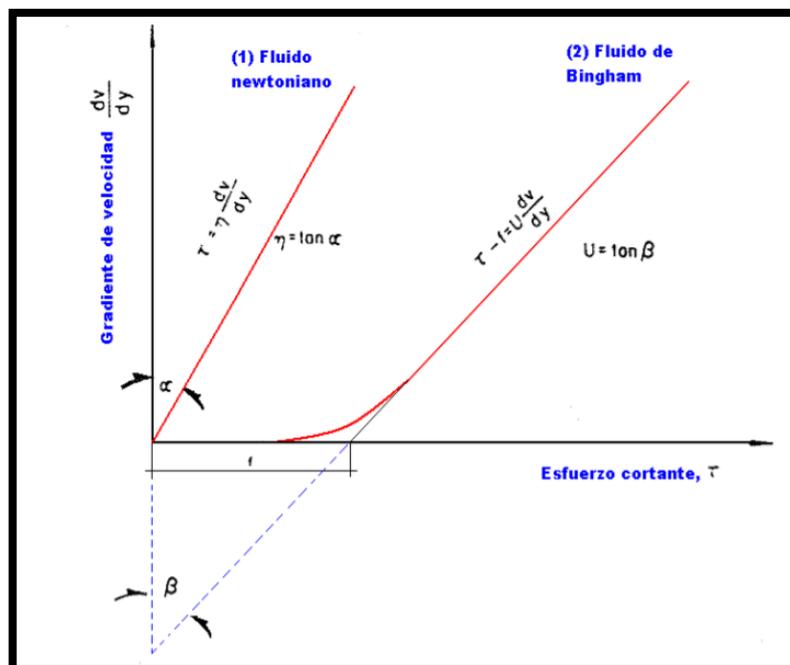


Figura 13: Diagramas reológicos característicos de un fluido newtoniano y de un fluido de Bingham

Fuente: Manual de Tecnología del Concreto Tomo II. CFE.



En el gráfico se observa que para un cierto intervalo inicial del esfuerzo aplicado la gráfica es curva, lo cual denota una etapa de transición de la pasta entre el estado plástico y el fluido. A partir de un determinado nivel de esfuerzo, llamado de cedencia (f), la gráfica se vuelve una línea recta y la pasta se comporta como un fluido sin cohesión, tipo Newtoniano. Si el esfuerzo se anula, la pasta recobra su estado inicial, como ocurre en el caso del fenómeno de tixotropía el cual es un comportamiento característico de los fluidos tipo Bingham, como la pasta de cemento.

En la mayoría de los trabajos con concreto que se realizan con métodos y equipos convencionales, se requiere el empleo de mezclas que posean suficiente cohesión para no segregarse, pero que al mismo tiempo puedan ser moldeadas y compactadas con la energía que normalmente son capaces de generar y transmitir dichos equipos. Esto significa que tales mezclas de concreto deben contener pastas de cemento de consistencia plástica cuyos coeficientes reológicos sean adecuados para el caso.

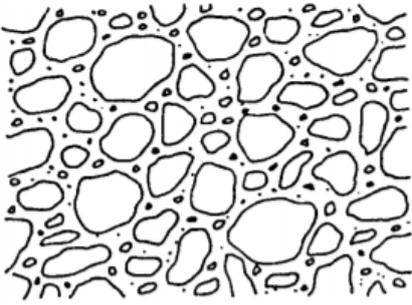
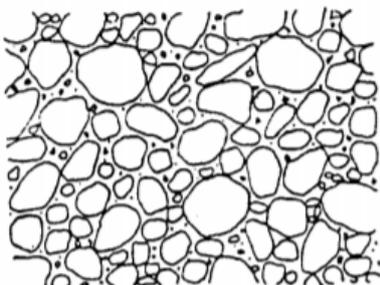
Entre los factores de índole intrínseca que influyen en la magnitud de los coeficientes reológicos de la pasta de cemento, el principal se refiere a la concentración de sólidos, definida por la relación agua/cemento (A/C) de la pasta.

2.2.3.5 Características reológicas de las mezclas de concreto

El comportamiento reológico, de una mezcla de concreto, puede verse como el resultado de combinar una pasta de cemento de consistencia plástica, con la máxima proporción de agregados que permita tener una masa deformable pero cohesiva, que pueda trabajarse bien, con equipos y procedimientos ordinarios.

Es posible hacer un símil, en el aspecto reológico, entre el papel que desempeña el agua en la pasta de cemento y la función que cumple ésta en el concreto recién mezclado. De esta manera, puede considerarse que, si a una pasta de cemento con determinada consistencia se le incrementa progresivamente el contenido de partículas de agregados, resultan mezclas de concreto cuya aptitud para deformarse y fluir se reduce consecutivamente. En la tabla 18, se hace la representación esquemática de tres mezclas de concreto con diferente concentración de partículas de agregados por unidad de volumen. (Manual de Tecnología del Concreto CFE. 1994).

Tabla 18: Representación esquemática de tres mezclas de concreto con diferente concentración de agregados

	<p>a) Mezcla de concreto de consistencia plástica, con el contenido óptimo de pasta de cemento. Las partículas de los agregados no hacen contactos permanentes, tienen una movilidad limitada y se mantienen uniformemente dispersas en la pasta de cemento. La mezcla de concreto se muestra cohesiva, pero se deforma y fluye con relativa facilidad, sin segregarse.</p>
	<p>b) Mezcla de concreto de consistencia blanda, por exceso de pasta de cemento. Las partículas de los agregados no llegan a establecer contacto permanente, disponen de una gran movilidad, y las de mayor tamaño propenden a sedimentarse. La mezcla de concreto muestra poca cohesividad, por lo que se deforma y fluye con facilidad, pero con tendencia a segregar.</p>
	<p>c) Mezcla de concreto de consistencia dura, por defecto de pasta de cemento. Las partículas de los agregados hacen contactos transitorios y permanentes entre sí, y prácticamente no disponen de movilidad, por lo que la mezcla de concreto resulta dura y requiere la aplicación de un alto esfuerzo para lograr su deformación y compactación, pero sin llegar a fluir propiamente.</p>

Fuente: Manual de Tecnología del Concreto Tomo II. CFE (Comisión Federal de Electricidad).

Para juzgar comparativamente el comportamiento reológico que puede esperarse de las tres mezclas de concreto representadas en la tabla 18, es conveniente insistir en el concepto de trabajabilidad, en términos de facilidad de colocación, mezclado y transporte para que su consistencia sea acorde con los medios de trabajo, y en lo relativo a la homogeneidad el concepto es más claro, pues evidentemente se refiere al hecho de conservar la distribución relativa de los componentes del concreto, durante y después de la realización de todas las



operaciones indicadas, es decir, que no se produzca segregación ni sangrado, en magnitud objetable.

El solo hecho de que una mezcla de concreto contenga una concentración de agregados dentro de la zona plástica, no es suficiente para que posea las condiciones reológicas que le permitan deformarse y fluir sin segregar, cuya característica es inherente a las mezclas que son trabajables, sino que también es necesario que dicha mezcla de concreto contenga una pasta de cemento con la cohesión y viscosidad que caracteriza a los fluidos de Bingham. Si esto se cumple, puede suponerse entonces que la mezcla de concreto también manifieste el comportamiento reológico que identifica a dichos fluidos, lo cual significa que:

- 1) La mezcla de concreto en estado de reposo posee una cierta cohesión que le impide deformarse y fluir, a menos que se le apliquen fuerzas capaces de producir esfuerzos internos mayores que el valor de la cohesión.
- 2) Una vez vencida la cohesión e iniciado el estado de movimiento, la mezcla de concreto exhibe una determinada viscosidad que le permite desplazarse como un fluido continuo y homogéneo, es decir sin segregar, mientras permanecen actuando las fuerzas que generan los esfuerzos de deformación y flujo.
- 3) Al suspenderse la acción de las fuerzas motrices, la mezcla de concreto recupera el estado de reposo y su condición de cuerpo cohesivo, aunque con un cierto grado de compacidad que se refleja en un ligero incremento de su cohesión. Es decir, si se requiere volver a deformar y fluidificar la mezcla de concreto por segunda ocasión, es necesario comunicarle mayor cantidad de energía, mediante fuerzas capaces de vencer la cohesión incrementada.

2.2.4 Principales propiedades reológicas

2.2.4.1 Estabilidad

Esta característica se refiere a la resistencia que las mezclas oponen para segregarse, es decir, la separación parcial del agregado grueso del resto de masa de concreto, y exudar agua “sangrado”; en otras palabras, representa su disposición para conservarse homogéneas. (ACI 309)



Es el desplazamiento o flujo que se produce en el concreto sin mediar la aplicación de fuerzas externas. Se cuantifica por medio de la exudación y la segregación, evaluada con métodos standard que permiten comparar dichas características entre varios diseños, siendo obvio que se debe buscar obtener los valores mínimos. Es interesante notar que ambos fenómenos no dependen expresamente del exceso de agua en la mezcla sino del contenido de finos y de las propiedades adherentes de la pasta. (Pasquel, 1998)

2.2.4.1.1 Segregación del concreto

Las diferencias de densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas desciendan, pero en general, la densidad de la pasta con los agregados finos es sólo un 20% menor que la de los gruesos (para agregados normales) lo cual sumado a su viscosidad produce que el agregado grueso quede suspendido e inmerso en la matriz. (Pasquel, 1998).

Cuando la viscosidad del mortero se reduce por insuficiente concentración de la pasta, mala distribución de las partículas o granulometría deficiente, las partículas gruesas se separan del mortero y se produce lo que se conoce como segregación (figura 14). En los concretos con contenidos de piedra $>$ del 55% en peso con respecto al peso total de agregados, es frecuente confundir la segregación con la apariencia normal de estos concretos, lo cual es muy simple de verificar obteniendo dos muestras de concreto fresco de sitios diferentes y comparar el contenido de gruesos por lavado, que no deben diferir en más del 6% (Pasquel, 1998).

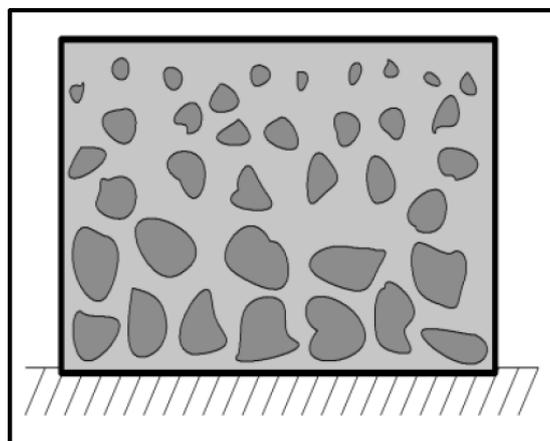


Figura 14: Segregación del concreto



Es la separación de los diferentes componentes de una mezcla fresca compuesta de elementos de tamaños y pesos heterogéneos. En el caso del concreto, la causa principal de segregación es la diferencia en el tamaño de las partículas (y en ocasiones, en la gravedad específica de los componentes de la mezcla). Estas diferencias pueden controlarse con una gradación adecuada y con un manejo cuidadoso. Esto se produce cuando la cohesión interna entre los constituyentes del hormigón no es la adecuada, es peligroso entonces llenar un encofrado o un molde con un material en estas condiciones.

La segregación hace que el concreto sea: más débil, menos durable, y dejará un pobre acabado de superficie. La segregación produce que disminuya la resistencia y la durabilidad del concreto. Puede producir fisuras y agujeros, afectando la resistencia y el acabado de un elemento estructural.

A. Tipos de segregación

La segregación se puede presentar de dos maneras:

- Una de ellas ocurre cuando se usan mezclas pobres y demasiado secas, de tal manera que las partículas gruesas tienden a separarse, bien sea, porque se desplazan a lo largo de una pendiente o porque se asientan más que las partículas finas.
- Segundo, cuando se separa la pasta (cemento y agua) de la mezcla lo cual ocurre en mezclas húmedas y con pasta muy diluida. (Hernández, I. J. 2010).

B. Causas que produzcan la segregación

La segregación puede producirse por déficit de cemento, exceso de agua, falta de partículas finas, exceso de elementos gruesos, transporte y/o colocación inconveniente. Las primeras causas corresponden a los elementos componentes del hormigón radican en el proceso de producción de la mezcla. Las dos últimas se presentan por ejemplo si al hormigón se le desliza por una pendiente, (caso de la canaleta), las partículas mayores tienden a desplazarse primero o si el hormigón es trasladado a distancias largas se agudiza la segregación en la medida que tal distancia se alarga. Las causas más comunes que producen la segregación del concreto son:



- La diferencia del tamaño de las partículas y su distribución granulométrica.
- La diferencia de densidades entre sus componentes
- Mal mezclado, transportes largos y sometidos a vibración.
- Colocación inadecuada y sobre vibración al consolidarlo.
- Descargar el concreto contra un obstáculo. (Hernández, I. J. 2010).

C. Medidas para disminuir la segregación del concreto

Para disminuir el riesgo de segregación es aconsejable seguir las siguientes recomendaciones:

- Dosificar en forma adecuada los materiales.
- Hacer una inspección visual del aspecto de la mezcla cuando se prueban los diseños.
- Reducir las distancias de acarreo del concreto dentro de las obras.
- No arrojar el concreto desde alturas mayores a 1 m.
- No transportar el concreto por conductos con cambios bruscos de dirección
- No descargar el concreto contra un obstáculo.
- No dejar fluir el concreto a lo largo de la formaleta.
- No esparcir un montón de concreto con el vibrador.
- No exceder el tiempo de vibración del concreto.
- No utilizar agregado grueso cuya densidad difiera apreciablemente del fino.
(Hernández, I. J. 2010).

D. Método de ensayo segregación estática del concreto utilizando la técnica de la columna (NTP 339.218)

Se define como segregación estática al asentamiento de las partículas de agregado grueso en una masa sin perturbar de concreto fresco.

Objetivo

Este método de ensayo cubre la determinación de la segregación estática del concreto por medio de la medición del contenido de agregados gruesos en la parte superior e inferior de las porciones de un espécimen cilíndrico (o columna).



Este método de ensayo puede ser utilizado para condiciones de laboratorio o de campo. Los valores especificados en unidades SI, deben considerarse como el estándar. Los valores declarados en cada sistema pueden no ser equivalencias exactas; por lo tanto, cada sistema debe ser utilizado independientemente uno del otro. Combinar la utilización de valores de los dos sistemas puede resultar en una no conformidad con esta norma.

Resumen del método del ensayo

Se colocó una muestra recién mezclada de concreto autocompactable en un molde cilíndrico sin apisonar o vibrar. El molde se divide en tres secciones que representan diferentes niveles del espécimen cilíndrico (o columna). Las porciones de concreto de la parte superior e inferior, se lavan en un tamiz de 4.75 mm (No.4), dejando el agregado grueso en el tamiz. Se determina la masa del agregado grueso de la sección superior e inferior y se calcula el porcentaje de segregación estática.

Significado y uso

Este método de ensayo debe ser utilizado para desarrollar mezclas de concreto autocompactable con segregaciones que no excedan los límites establecidos. El concreto autocompactable es un concreto fluido que puede ser propenso a la segregación si no se diseña para ser cohesivo. Un concreto autocompactable cohesivo es importante para todos los usos, pero es especialmente crítico para secciones profundas como columnas o muros. Por lo tanto, el grado de segregación puede indicar si una mezcla es apropiada para su uso.

Equipos e Instrumentos

- 1) **Molde tipo columna.** - La sección de la columna en el molde, consiste en un tubo plástico de policloruro de vinilo (PVC). La columna es de 200 mm (8 pulg) en diámetro nominal por 660 mm (26 pulg) en altura y separado en 3 secciones.

La sección superior es de 165 mm (6.5 pulg) de altura, la sección de en medio 330 mm (13 pulg) de altura y la sección inferior 165 mm (6.5 pulg) de altura, abrazaderas de fijación, fueron utilizados para fijar las secciones de las columnas entre sí para formar una junta.

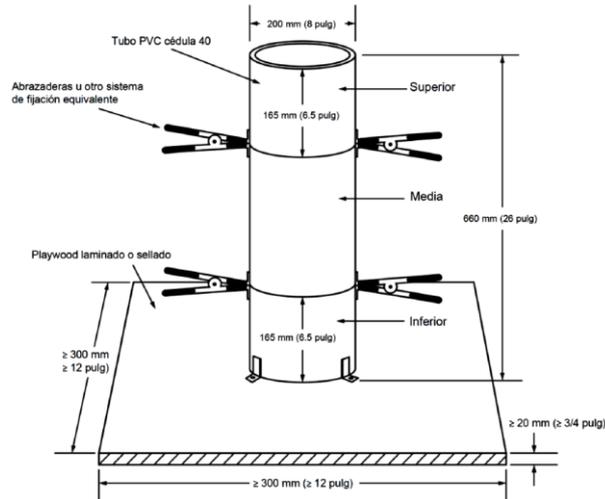


Figura 15: Detalle del molde tipo columna

Fuente: NTP 339.218

- 2) **Placa colectora.** - La placa colectora fabricada de acero de dimensiones 510 mm (20 pulg) por 510 mm (20 pulg). La placa tiene una sección cortada a lo largo del centro, de medidas de 220 mm (8.7 pulg) y contiene un borde rígido de 50 mm (2 pulg) de altura alrededor de los tres lados del perímetro de la placa.

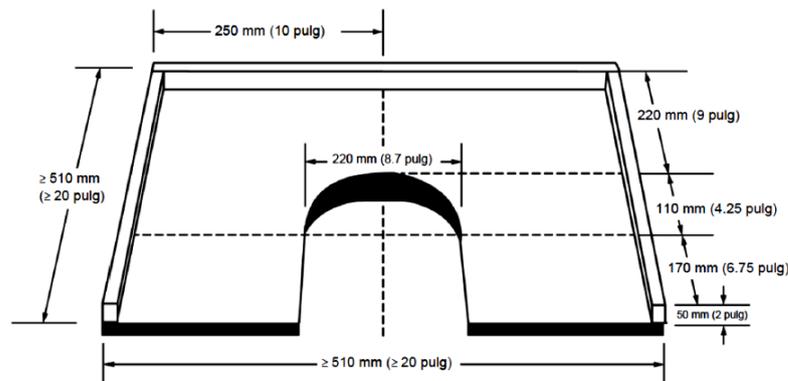


Figura 16: Detalle de la placa colectora

Fuente: NTP 339.218

- 3) **Balanza.** - Una balanza de precisión 0.5%, con una capacidad máxima de 30 kg.
- 4) **Barra de enrasado.** - Una barra metálica plana y rectangular de al menos 6 mm (1/4 pulg) de grosor o una placa de vidrio o acrílica de al menos 12 mm (1/2 pulg) de espesor con una longitud y ancho de al menos 50 mm (2 pulg) mayor que el diámetro del medidor que será utilizado. Los bordes de la placa deben ser rectos dentro de una



tolerancia de 2 mm (1/16 pulg). Tamiz. - Un tamiz rectangular de 4.75 mm (No. 4) con dimensiones mínimas de 330 mm (13 pulg) por 630 mm (25 pulg).

- 5) **Recipiente de muestras.** - Una bandeja o carreta de material impermeable y de superficie no absorbente, suficientemente grande para permitir que se pueda remezclar la muestra completa y se pueda retener un volumen suficiente de concreto para llenar un molde tipo columna.
- 6) **Recipiente de vertido.** - Un contenedor impermeable de un volumen suficiente para que el concreto no se derrame durante su vertido en el molde tipo columna.
- 7) **Otros instrumentos.** - Los artículos como palas y cucharas capaces de remezclar el concreto en el recipiente de muestras, llenar el recipiente de vertido o ambos.

Procedimiento

- 1) Realizar el ensayo en una superficie de trabajo plana sin exponer la superficie de trabajo a vibraciones o perturbaciones de movimientos.
- 2) Humedecer el interior del molde, eliminando el agua estancada en la placa base dentro de la columna.
- 3) Una vez obtenida la mezcla llenar el recipiente de vertido por medio de uso de una pala.
- 4) Inmediatamente después llenar el molde tipo columna dentro de un lapso de 2 min colocando el punto más bajo del recipiente de vertido en no más de 5 pulg por encima de la parte superior del molde, asegurando una distribución uniforme del concreto, sin apisonar ni golpear los laterales del molde.
- 5) Después de llenar el molde, enrasar la superficie deslizando la barra de enrasado a través del borde superior del molde con un movimiento de sierra, hasta que la superficie del concreto sea nivelada con el borde superior del molde.
- 6) Esperar que el concreto repose por un lapso de 15 min.
- 7) Seguidamente después del periodo de reposo, mantener firmemente la sección superior del molde y retirar el sistema de fijación.
- 8) Colocar la sección cortada de la placa recolectora alrededor de la columna justo por debajo de la junta entre la sección superior y media para recolectar y obtener el concreto.



- 9) Sujetar la sección superior del molde y utilizando un movimiento rotatorio horizontal enrasar el concreto en la sección superior de la columna en la placa recolectora y luego depositarlo en una bandeja.
- 10) Repetir el paso 8 y 9 pero en este caso en la sección intermedia del molde, depositar la sección inferior en una bandeja y la parte intermedia desecharlo.
- 11) Seguidamente proceder a lavar el concreto en el tamiz N°4 tanto la sección superior como la inferior del molde, con el propósito de que solo el agregado grueso permanezca en el tamiz y depositarlo en otra bandeja.
- 12) Trasladar el agregado grueso obtenido tanto de las secciones superior e inferior del molde a una superficie seca enrollándolo en un paño absorbente grande hasta que se eliminen todas las películas visibles de agua.
- 13) Finalmente registrar el peso del agregado grueso de la sección superior e inferior del molde.

Precisión y sesgo

Precisión: La estimación de la precisión para este método de ensayo es provisional. Se obtuvo una desviación estándar repetible de 0.2 % en un estudio que incluyó cinco bachadas replicadas de mezclas de concreto con una segregación estática media de 3.8%.

Sesgo: El procedimiento utilizado en este método de ensayo no tiene sesgo ya que la segregación del agregado grueso del concreto se define únicamente en términos de este método.

Fórmulas y parámetros:

RANGOS PARA LA SEGREGACION	
0.00%	6.00%

$$PORCENTAJE DE SEGREGACION(S) = \left[\frac{(C_{AB} - C_{AT})}{(C_{AB} + C_{AT})} \right] \times 100$$

Donde:

CAB = Masa de agregado grueso en la parte superior de la columna, kg

CAT = Masa de agregado grueso en la parte inferior de la columna, kg



2.2.4.1.2 Exudación del concreto

Es una forma de segregación o sedimentación, en la cual parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie de una mezcla de concreto recién colocado. Esto obedece a que los constituyentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua cuando se asientan durante el proceso de fraguado. (Hernández, I. J. 2010).

Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto. Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades. (Pasquel, 1998).

A. Causas de la exudación

La exudación del concreto está influenciada por:

- Proporciones de la mezcla.
- Características de los materiales.
- Contenido de aire.
- El uso de aditivos convencionales o minerales.
- Por la angularidad y gradación del agregado fino. (Hernández, I. J. 2010).

Cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que la malla No 100, la exudación será menor pues se retiene el agua de mezcla. La exudación se produce inevitablemente en el concreto, pues es una propiedad inherente a su estructura, luego lo importante es evaluarla y controlarla en cuanto a los efectos negativos que pudiera tener (Pasquel, 1998).

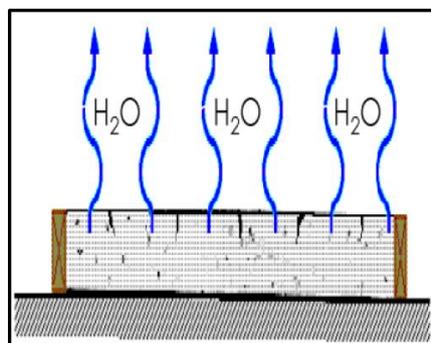


Figura 17: Exudación del concreto



Tanto la capacidad de exudación como la proporción de exudación pueden determinarse experimentalmente mediante la prueba NTP 339.077. La exudación del concreto termina cuando la pasta ha endurecido lo suficiente.

B. Problemas encontrados por la exudación

Cuando este fenómeno se presenta en una alta tasa, se convierte en poco deseable, especialmente para bombear y dar acabado al concreto, porque la mezcla tiende a pegarse a las tuberías y herramientas con que se proporciona el acabado. Adicionalmente, trae otras consecuencias nocivas, como el debilitamiento de la parte superior de una porción de concreto que se vuelve demasiado húmeda y se traduce en disminución de las propiedades del concreto superficial, mayor porosidad, menor resistencia a la abrasión y al ataque de agentes agresivos presentes en el ambiente.

Si la evaporación de agua en su superficie es más rápida que la velocidad de exudación, se producen fisuras de retracción. Otro problema que se crea con la evaporación del agua es que puede quedar atrapada debajo de las partículas gruesas de agregado o del acero de refuerzo, esto genera zonas de baja adherencia y por lo tanto una eventual disminución en la resistencia. Adicionalmente, cuando sale el agua forma conductos capilares que incrementan la permeabilidad del concreto. Pero, no en todos los casos la exudación es indeseable, por ejemplo, los procesos de concreto al vacío, se facilitan si se tiene una alta tasa y cantidad de exudación ya que el agua puede ser removida con mayor comodidad. (Hernández, I. J. 2010).

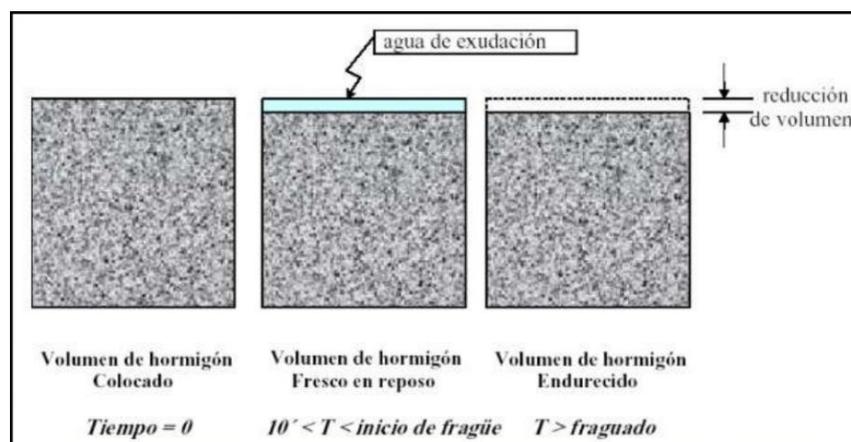


Figura 18: Esquema de la reducción del volumen manifestado por el concreto debido al fenómeno de la exudación

Fuente: Universidad Nacional de Ancash (UNASAM).



C. Medidas para disminuir la exudación

La exudación no es necesariamente dañina. Si no es interrumpida (el agua se evapora), la relación efectiva agua/cemento puede reducirse, son el consiguiente incremento en la resistencia. Por otra parte, si el agua que sube lleva consigo gran cantidad de las partículas más finas de cemento, se formará una capa de nata. Sí ésta queda en la parte superior de un bloque, se formará una superficie porosa y con aspecto polvoso permanente. En la parte superior se formará una capa débil y su adherencia con la siguiente será inadecuada. Por esta razón, la nata siempre debe ser removida mediante cepillado y lavado.

La tendencia a la exudación depende del contenido de agua de la mezcla, pero también de las propiedades del cemento. Será menor con cementos más finos y también influirán en ella algunos aspectos químicos: será menor cuando el cemento contenga mucho álcali o C3A, o cuando se añada cloruro de calcio; aunque los dos últimos factores pueden producir otros efectos indeseables. Una mayor temperatura, dentro del rango normal, incrementa la tasa de exudación, aunque la capacidad de exudación total probablemente no resulte afectada. Las mezclas ricas son menos propensas a la exudación que las pobres; también se logra reducir la exudación añadiendo puzolana o polvo de aluminio.

La incorporación de aire reduce eficazmente el exudado, para que después del colado se siga con el acabado sin demora.

D. Velocidad de exudación

Es la velocidad con la que el agua se acumula en la superficie del concreto.

E. Volumen total de exudado

Es el volumen total de agua que aparece en la superficie del concreto.

F. Métodos de ensayo determinación de la exudación del concreto recién mezclado según el método A (NTP 339.077)

Objetivo

Establecer el procedimiento para determinar la cantidad relativa de agua de mezclado que puede ser exudada de una muestra de concreto fresco. Se incluyen dos métodos los cuales difieren, fundamentalmente en el grado de vibración al cual se somete la muestra de concreto.



Cuando se ensaye una misma muestra por ambos métodos, no se producirán los mismos resultados. Cuando se comparan varios concretos, todos los ensayos serán conducidos bajo un mismo método y si las tandas son de similar peso unitario, no deberán diferir en más de 1 kg.

Significado y uso

Este método de ensayo proporciona los procedimientos para determinar los efectos de variables de composición, manejo, medio ambiente y otros factores sobre la exudación del concreto. También el método puede ser usado para determinar la conformidad de un producto o manejo con un requisito relacionado con su efecto sobre la exudación del concreto.

Método A – Se usa para una muestra consolidada por varillado solamente y ensayada sin subsecuente perturbación simulando las condiciones en las que el concreto después de colocado no está sometido a una vibración intermitente.

Método B – Se usa para una muestra consolidada por vibración y ensayada con subsecuentes períodos intermitentes de vibración, simulando las condiciones en las que el concreto después de colado, es sujeto a una vibración intermitente.

Equipos e Instrumentos

- 1) **Recipiente cilíndrico.** - Un recipiente cilíndrico de aproximadamente 14L ($\frac{1}{2}$ pie³) de capacidad, con un diámetro interno de 255 ± 5 mm ($10 \pm \frac{1}{4}$ pulg) y una altura de 280 ± 5 mm ($11 \pm \frac{1}{4}$ pulg). El interior debe ser suave y libre de corrosión, recubrimientos o lubricantes. con el fin determinar el porcentaje de exudación del concreto diseño.
- 2) **Balanza.** - De suficiente capacidad para determinar la masa requerida con una precisión de 0,5 %. Las balanzas o básculas se deben calibrar al menos una vez al año o siempre que haya motivos para cuestionar la exactitud de los equipos. El equipo que no está en condiciones de funcionamiento o fuera de la tolerancia se marcará como tal y deberá estar fuera de servicio hasta su corrección.
- 3) **Pipeta o instrumento similar.** - Para extraer el agua libre de la superficie del espécimen de ensayo.



- 4) **Probeta de vidrio graduada.** - De 100 ml de capacidad para recolectar y medir la cantidad de agua extraída.
- 5) **Varilla apisonadora.** - Una varillada de acero redonda y recta de un diámetro de 16 mm ($\frac{5}{8}$ pulg) y de aproximadamente 610mm (24 pulg) de largo, que tenga su extremo de apisonar redondeado a una punta hemisférica de un diámetro de 16 mm ($\frac{5}{8}$ pulg).
- 6) **Balanza gramera.** - Una balanza sensitiva a 1g para determinar la masa del agua sobrenadante y los sedimentos decantados.

Procedimiento

- 1) Durante el ensayo, se mantiene la temperatura ambiente entre 18°C y 24°C.
- 2) Inmediatamente después nivelar la superficie de la muestra.
- 3) Se marca una altura interior de 254 mm en el recipiente cilíndrico, con la ayuda de la wincha.
- 4) Verter la mezcla de concreto hacia el recipiente cilíndrico, colocar la mezcla de concreto en tres capas de aproximadamente igual volumen y se golpea con la varilla apisonadora 25 veces en cada capa.
- 5) Se alisa la superficie del espécimen.
- 6) Se pesa la masa del recipiente y su contenido.
- 7) Luego se coloca el recipiente sobre una plataforma nivelada o sobre un piso libre de cualquier vibración perceptible y se cubre el recipiente para prevenir la evaporación del agua exudada, se mantiene la tapa del recipiente durante todo el ensayo salvo cuando se extrae el agua exudada.
- 8) El agua que se acumula en la superficie se extrae con una pipeta o jeringa a intervalos de 10 min durante los primeros 40 min y luego a intervalos de 30 min hasta que se termina la exudación anotando el tiempo de la última observación.
- 9) Para facilitar la colección del agua exudada se procede a inclinar el espécimen cuidadosamente, colocando una pieza de 2 pulg de espesor bajo uno de los lados del recipiente, unos dos minutos antes de la extracción de agua y luego después de que se ha extraído el agua, se regresa el recipiente a su posición original sin agitarlo.
- 10) Posteriormente de cada extracción, se transfiere el agua a una probeta graduada de 100ml y se registra la cantidad de agua acumulada después de cada transferencia.



Precisión y sesgo

Método A – No se cuenta con datos disponibles para evaluar la precisión del método A directamente. Sin embargo, se tienen razones para considerar que el método A es tan bueno como el método B. Por lo tanto, los valores dados para el método B serán tomados como los límites máximos de precisión para el método A.

Método B – La desviación estándar para un solo operador – por día- por varias amasadas de la misma mezcla, (1s) se ha encontrado ser de 0.71% para un rango de exudación de 0 a 10%; de 1.06% para un rango de exudación de 10 a 20% y de 1.77% para exudaciones de más de 20%. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados adecuadamente por un mismo operador en el mismo día sobre diferentes amasadas de la misma mezcla, no se espera que difieran entre sí por más de 2.0% (d2s) para un rango de exudación de 0 a 10%; de 3.0% para un rango de exudación de 10 a 20 % y de 5.0% para un rango de exudación de más de 20%.

Sesgo – Estos métodos de ensayo no tienen sesgo, porque los valores determinados pueden ser definidos solo en términos de cada uno de los métodos de ensayo.

Fórmulas y parámetros

RANGOS PARA LA EXUDACION	
0.71%	2%

VOLUMEN DE EXUDACION POR UNIDAD DE AREA SUERFICIAL (V) = $\left(\frac{WT}{VT}\right)$

MASA DE AGUA EN EL ESPECIMEN DEL ENSAYO(C) = $\left(\frac{WA \times WM}{WT}\right)$

EXUDACION(E) = $\left(\frac{VT}{C \times 1000}\right) \times 100$

Donde:

- C = Masa de agua en el espécimen de ensayo, kg
- VT = Volumen total acumulado exudado, ml
- A= Area expuesta del concreto, cm²
- V= Volumen de exudacion por unidad de area superficial, ml/cm²
- WT= Peso total de la mezcla elaborada, kg
- WM= Peso de la muestra, kg
- WA= Peso neto del agua en la mezcla, kg
- E= Cantidad de agua exudada, %



2.2.4.2 Movilidad

Representa la aptitud de las mezclas de concreto para deformarse y fluir; cuya característica depende de la cohesión, viscosidad y ángulo de fricción interna del concreto fresco. (ACI 309).

Es la facilidad del concreto a ser desplazado mediante la aplicación de trabajo externo. Se evalúan en función de la viscosidad, cohesión y resistencia interna al corte. La viscosidad viene dada por la fricción entre las capas de la pasta de cemento, la cohesión es la fuerza de adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, y la resistencia interna al corte la provee la habilidad de las partículas de agregados a rotar y desplazarse dentro de la pasta. Las pruebas desarrolladas en la actualidad para medir estos parámetros sólo son aplicables a nivel sofisticado en laboratorio por lo que aún está a nivel de investigación una prueba práctica para emplearse en obra, sin embargo, es importante al momento de diseñar y comparar mezcla, realizar una evaluación al menos cualitativa de estos parámetros, con objeto de acercarnos al óptimo. (Pasquel, 1998)

La disposición que una mezcla de concreto ofrece para deformarse y fluir, corresponde al aspecto de movilidad, el cual depende significativamente de la cohesión y la viscosidad plástica de la mezcla como fluido de Bingham. La cohesión, que se identifica con el esfuerzo de cedencia, representa en cierto modo la resistencia que la mezcla opone para deformarse e iniciar el flujo, en tanto que la viscosidad plástica da noción de la facilidad y rapidez con que la mezcla puede fluir, una vez rebasada la cohesión e iniciado el movimiento. Entonces, desde un punto de vista práctico, lo deseable es que las mezclas de concreto fluyan con facilidad, pero permaneciendo homogéneas. Sin embargo, los requerimientos para que se cumplan estas dos condiciones siguen tendencias contrarias, pues al aumentar la movilidad de mezclas de concreto disminuye su posibilidad de permanecer homogéneas. (Manual de Tecnología del Concreto CFE. 1994).

2.2.4.2.1 Cohesión

Es la aptitud que tiene el concreto o mortero fresco para mantenerse como una masa estable y sin segregación. (Hernández, I. J. 2010).

La cohesión es la fuerza de adherencia entre la pasta de cemento y los agregados. (ACI 309).



La cohesión se define como aquella propiedad gracias a la cual es posible controlar la posibilidad de segregación durante la etapa de manejo de la mezcla, al mismo tiempo que contribuye a prevenir la aspereza de la misma, y facilitar su manejo durante el proceso de compactación del concreto. Normalmente se considera que una mezcla de concreto posee el grado apropiado de cohesividad si ella no es demasiado plástica ni demasiado viscosa, es plástica y no segrega fácilmente.

Propiedad del concreto que describe la facilidad o dificultad que tiene la pasta de cemento y la mezcla con los agregados, de atraerse para mantenerse como suspensión en el concreto, evitando así la disgregación de los materiales. (Universidad Católica los Ángeles Chimbote).

A. Factores que modifican la cohesividad

En una pasta de cemento-agua, la cohesividad se incrementa cuando la relación agua - cemento alcanza valores distintos para luego empezar a disminuir. La cohesividad se incrementa con aumentos en la fineza de las partículas de la mezcla.

B. Importancia de la cohesividad

La importancia de la cohesividad de la mezcla varía con las condiciones de colocación, cuando es necesario transportar el concreto a gran distancia, hacerlo circular por canaletas o hacerlo pasar a través de la malla de acero de refuerzos, es esencial que la mezcla sea cohesiva.

La manera más usual para evaluarla es por medio de la prueba de revenimiento (ASTM C143). Este ensayo puede ser útil, para dar información acerca de su cohesividad y posible comportamiento durante su manipulación en obra.

Ahora bien, un concreto fluido mediante la incorporación de aditivos plastificantes da un revenimiento mayor de 19.0 cm, el “concreto normal o convencional” proporciona revenimientos entre 2.5 y 17.5 cm, el “concreto masivo” posee revenimientos entre 2.5 y 5.0 cm y el “concreto muy duro”, es el que proporciona un revenimiento máximo de 2.5 cm al cual, se le conoce como “concreto sin revenimiento”.

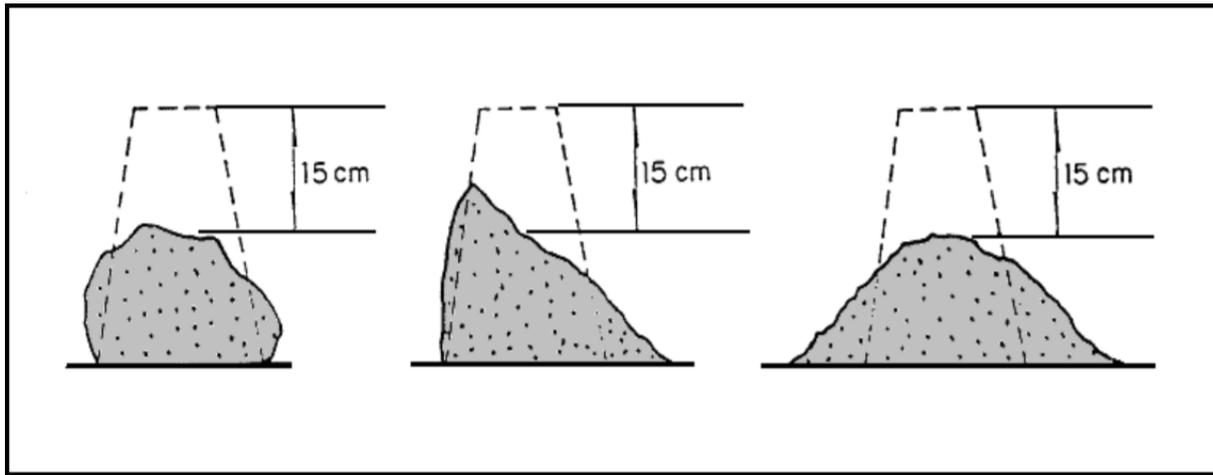


Figura 19: Representación esquemática de tres mezclas de concreto convencional con el mismo revenimiento con diferente cohesividad

Fuente: Manual de Tecnología del concreto Tomo II. CFE (Comisión Federal de Electricidad)

La prueba estándar de revenimiento es un ensayo prácticamente estático en el que la muestra de concreto se deforma exclusivamente por efecto de la reducida energía potencial de la propia muestra.

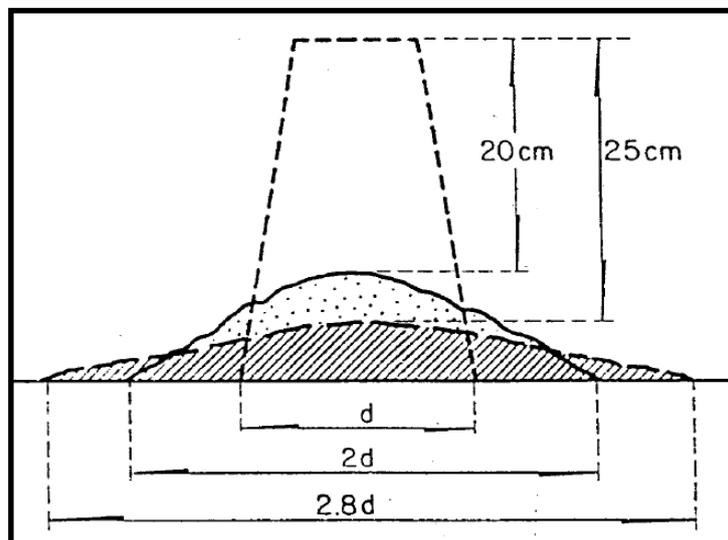


Figura 20: Representación esquemática de la prueba de revenimiento en mezclas de concreto fluido

Fuente: Manual de Tecnología del concreto Tomo II. CFE (Comisión Federal de Electricidad)



La consistencia, es representativa de la resistencia que el concreto opone para deformarse y fluir, entonces puede hablarse de grados de consistencia valorables en función de dicha resistencia a la deformación y flujo. Sin embargo, debido a que no hay un procedimiento de aceptación general para medir cuantitativamente esta resistencia, en la práctica se recurre normalmente a dos modelos para expresar los grados de consistencia de las mezclas de concreto, por una parte, en términos descriptivos, basados en la apariencia del concreto y el comportamiento que exhibe al ser manipulada, y por otra parte en términos cuantitativos, con base en los resultados de alguna prueba específica.

En referencia a términos descriptivos podemos mencionar en orden ascendente que una mezcla puede ser de consistencia fluida, plástica o dura, con sus respectivos calificativos intermedios o superlativos. En términos cuantitativos existen numerosos métodos cuya aptitud depende del nivel o grado de consistencia que quiere medirse.

Tabla 19: Intervalos de consistencia para diferentes tipos de concreto fresco, en los cuales, son aplicables los procedimientos de medición de uso común

Procedimientos de Medición	TIPOS DE CONCRETO						
	Fluido	Normal		Masivo	Sin revenimiento		
	GRADOS DE CONSISTENCIA DE LAS MEZCLAS						
	Fluida	Semifluida	Plástica	Semiplástica	Dura	Muy dura	Extremadamente dura
Extensibilidad (DIN 1048)	Intervalo de aplicación confiable	Intervalo de aplicación confiable	Intervalo de aplicación confiable	Intervalo adicional, de aplicación con reservas			
Revenimiento (ASTM C143)	Intervalo adicional, de aplicación con reservas	Intervalo de aplicación confiable	Intervalo de aplicación confiable	Intervalo de aplicación confiable	Intervalo adicional, de aplicación con reservas		
Bola de penetración Kelly (ASTM C360)	Intervalo adicional, de aplicación con reservas	Intervalo de aplicación confiable	Intervalo de aplicación confiable	Intervalo de aplicación confiable	Intervalo adicional, de aplicación con reservas		
Factor de Compactación		Intervalo de aplicación confiable	Intervalo de aplicación confiable	Intervalo de aplicación confiable	Intervalo de aplicación confiable	Intervalo adicional, de aplicación con reservas	
Mesa de Sacudidas (ACI 211.3)			Intervalo de aplicación confiable	Intervalo adicional, de aplicación con reservas			
Mesa Vibratoria Vebe (ACI 211.3)			Intervalo adicional, de aplicación con reservas	Intervalo de aplicación confiable			

Simbología

- Intervalo de aplicación confiable.
- Intervalo adicional, de aplicación con reservas.

Fuente: Manual de Tecnología del concreto Tomo II. CFE (Comisión Federal de Electricidad)

Tabla 20: Factores que influyen en la consistencia del concreto fresco

Durante el proceso de elaboración.	Factores intrínsecos	Características de los componentes. Proporción de los componentes. Temperatura de la mezcla.
	Factores extrínsecos	Temperatura y humedad. Tiempo de mezclado. Procedimiento para medir consistencia.
Durante el lapso inmediato posterior a la elaboración.	Factores intrínsecos	Características de los componentes. Grado de consistencia inicial. Incompatibilidad de componentes. (Cemento y aditivos)
	Factores extrínsecos	Temperatura y humedad ambiental. Condiciones, exposición y manejo del concreto. Procedimiento para medir consistencia.

Fuente: Manual de Tecnología del concreto Tomo II. CFE (Comisión Federal de Electricidad)

C. Método de ensayo estándar revenimiento del concreto (ASTM C143)

Se le llama revenimiento a la diferencia de altura que hay entre la parte superior del molde y la parte superior de la mezcla fresca cuando ésta se ha asentado después de retirar el molde. Esta distancia se expresa generalmente en cm y varía según la fluidez del concreto. La forma que adopta el cono de la mezcla de concreto puede ser:

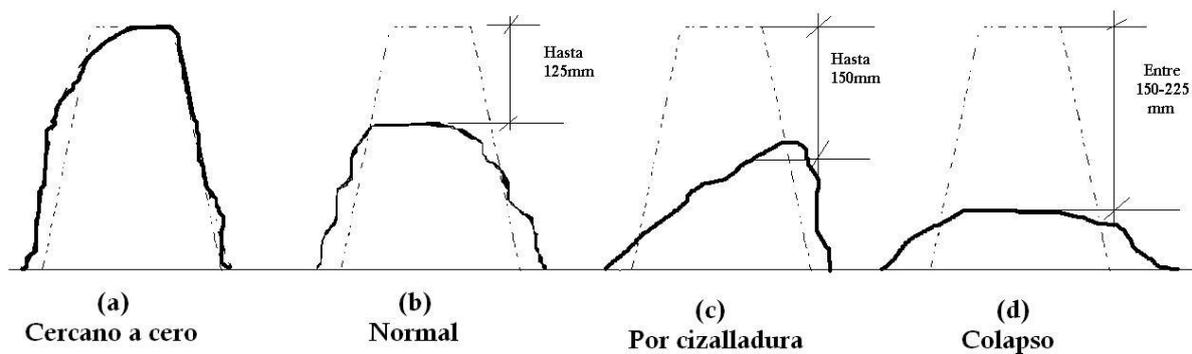


Figura 21: Formas que adopta la mezcla en la prueba de revenimiento

Fuente: Norma ASTM C143



1) Revenimiento cercano a cero:

Puede ser el resultado del concreto que tiene todos los requisitos de trabajabilidad, pero con poco contenido de agua, o se trata de un concreto hecho con agregados grueso que permiten que el agua drene fuera de la mezcla de concreto sin que esto produzca algún cambio de volumen.

2) Revenimiento normal:

Se trata de concreto con buena o excelente trabajabilidad, el revenimiento usado para concreto estructural se sitúa entre 2 y 7 pulgadas.

3) Revenimiento por cizalladura o cortante:

Indica que el concreto carece de plasticidad y cohesión, un resultado satisfactorio de esta prueba es cuestionable.

4) Colapso en el revenimiento:

Indica un concreto obtenido con concretos pobres, hechos con agregados gruesos en exceso o mezclas extremadamente húmedas. En este tipo de concretos, el mortero tiende a salir del concreto, quedando el material grueso en el centro del cono. Hay segregación, debido a los múltiples factores que afectan la trabajabilidad (contenido de agua de la mezcla, tamaño máximo de los agregados, granulometría, forma y textura, etc.) la prueba de revenimiento, si bien proporciona una indicación de la consistencia y en ciertas mezclas también de la trabajabilidad, no es capaz de distinguir entre mezclas de características distintas, pero es muy útil para detectar las variaciones de uniformidad y humedad de la mezcla.

Objetivo

Determinación del revenimiento del concreto, en el laboratorio y en el campo.

Método indirecto para determinar la manejabilidad de una mezcla, midiendo la consistencia y fluidez.

Resumen

Una muestra de concreto fresco es colocada y compactada mediante varillado en un molde con forma de cono truncado, el molde es levantado y el concreto se hunde, la



distancia entre la posición original y desplazada del centro de la cara superior del concreto es medida y reportada como el revenimiento del concreto.

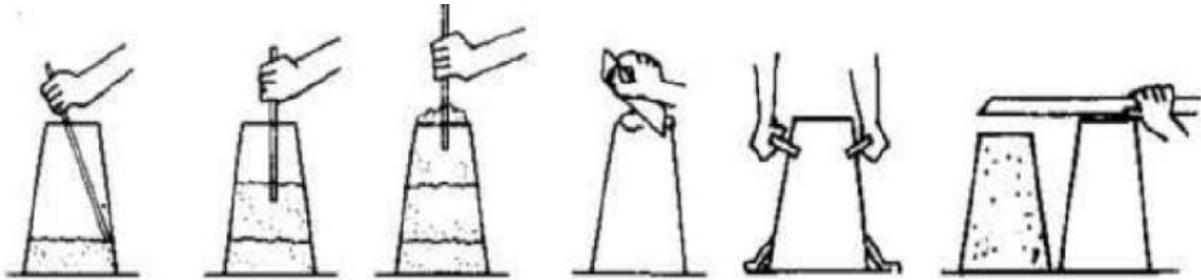


Figura 22: Proceso del ensayo de revenimiento

Fuente: Diseño del concreto fresco y endurecido curso-tecnología de materiales - Universidad Científica del Perú (UCP)

Importancia y aplicación

El ensayo de revenimiento se realiza para monitorear la consistencia de una muestra de concreto fresco. Bajo condiciones de laboratorio y con un estricto control de los materiales del concreto, se ha encontrado una relación directa entre la cantidad de agua y el revenimiento de una mezcla de concreto (el revenimiento aumenta proporcionalmente con la cantidad de agua). En condiciones de campo, esta relación no es clara, por lo tanto, se debe tener especial cuidado en relacionar el revenimiento con la resistencia del concreto, el ensayo se aplica a concretos plásticos con agregados gruesos de hasta 37.5mm (1 1/2 pulg).

Si el tamaño máximo es mayor, se debe aplicar tamizado en húmedo según ASTM C172 en la malla con abertura de 37.5 mm y realizar la prueba al concreto que pasa la malla, el ensayo no es aplicable a concretos no plásticos (revenimiento menor a 15 mm) ni a concretos no cohesivos (revenimientos mayores que 230 mm). El ensayo para concretos con estas características puede no ser significativo.



Equipos e instrumentos

1. **Molde.-** El espécimen de ensayo debe hacerse en un molde metálico que no reaccione fácilmente con la pasta de cemento. La lámina no debe tener un espesor menor de 1.5 mm (0.060 pulg) y si se forma con el proceso de rolado, en ningún punto del molde el espesor será menor de 1.15 mm (0.045 de pulg). El molde debe tener la forma de la superficie lateral de un cono truncado, con la base de 200 mm (8 pulg) de diámetro, la parte superior de 100 mm (4 pulg) de diámetro, y la altura de 300 mm (12 pulg). Los diámetros y alturas individuales deben tener una tolerancia de ± 3 mm (1/8 de pulg) de las dimensiones especificadas. La base y la parte superior deben estar abiertas y ser paralelas entre sí y formar ángulo recto con el eje longitudinal del cono. El molde debe tener estribos para apoyar los pies y asas similares a las que se muestran en él. El molde debe construirse sin costuras.

El interior del molde debe estar relativamente liso y libre de imperfecciones. También debe estar libre de abolladuras, deformaciones o mortero adherido. Puede aceptarse un molde que esté sujeto a una placa de base no absorbente, en lugar del ilustrado, siempre y cuando el sistema de fijación sea tal que pueda liberarse y que la base sea lo bastante grande para contener todo el concreto asentado en un ensayo aceptable.

2. **Varilla apisonadora.-** Debe ser una varilla de acero recta, de sección circular de 16 mm (5/8 de pulg) de diámetro y aproximadamente 24 pulgadas [600 mm] de longitud, que tiene el extremo de apisonamiento o ambos extremos redondeados a una punta semiesférica, el diámetro de los cuales es de 5 /8 de pulgada [16 mm].
3. **Dispositivo de medición.-** Una regla, una cinta metálica enrollable para medir, o un instrumento similar de medición rígido o semirrígido marcado en incrementos de 5mm (1/4 pulg) o más pequeños. La longitud del instrumento debe ser de por lo menos 300 mm (12 pulg).
4. **Cucharón.-** De un tamaño suficiente para que cada cantidad de concreto obtenida el recipiente de la muestra, sea representativa y suficientemente pequeña para que no se derrame durante su colocación en el molde.



Precisión y sesgo

La precisión estimada para este método está basada sobre resultados de ensayos conducidos por Fayetteville, Arkansas, por 15 técnicos de 14 laboratorios representativos de tres estados de USA. Todos los ensayos se realizaron en tres rangos de asentamientos, entre 25 mm a 160 mm, usando la carga de un camión mezclador de concreto. El concreto fue preparado, entregado y ensayado para un asentamiento bajo, luego se le adicionó agua y remezcló el concreto remanente para obtener, en forma independiente, un asentamiento moderado y finalmente un asentamiento alto. La mezcla de concreto fue preparada usando agregado triturado de huso N° 67, arena lavada de río y un contenido de 227 kg de material cementico por metro cúbico de concreto. Los 227 kg de material cementico fueron divididos igualmente entre cemento tipo I y II, según NTP 334.009, y ceniza volante clase C. Se usó doble dosaje de un aditivo químico retardador para minimizar la perdida de asentamiento y mantener la trabajabilidad del concreto. La temperatura del concreto se mantuvo entre el rango de 30 °C a 34 °C . Para un rango de asentamiento se obtuvo un resultado promedio de 17 mm, durante los 20 minutos requeridos para desarrollar una serie de 6 ensayos de asentamiento. Los ensayos fueron realizados alternativamente, usando moldes de metal y plástico. Se realizaron un total de 270 ensayos de asentamiento.

Precisión de un solo operador. - La desviación estándar de un solo operador representada por (1s) se muestra en la Tabla 22 para valores promedio de asentamiento. Los resultados informados para lecturas de réplicas aplican a ensayos conducidos por el mismo operador que realiza ensayos sucesivos, uno inmediatamente a continuación de otro. Resultados aceptables de dos ensayos apropiadamente realizados por el mismo operador, sobre el mismo material, no deben diferir uno de otro en más de (d2s) valor de la última columna de la Tabla 22, para un asentamiento apropiado y un solo operador.

Precisión multilaboratorio. - La desviación estándar de multilaboratorios representada por (1s) se muestra en la tabla 21 para valores promedio de asentamiento. Los resultados informados para lecturas de réplicas aplican a ensayos conducidos por diferentes operadores de diferentes laboratorios que realizan separadamente ensayos en menos de 4 min. Por lo tanto, resultados aceptables de dos ensayos de asentamientos apropiadamente realizados sobre el mismo material, por dos diferentes laboratorios, no deben diferir uno de otro en más de (d2s) valor de la última columna de la tabla 21, para un asentamiento apropiado y precisión multilaboratorios.



Tabla 21: Límites de precisión

Asentamiento y tipo de operador	Desviación estándar (1s)	Rango aceptable de dos resultados (d2s)
Un solo operador		
➤ Asentamiento 30 mm	6 mm	17 mm
➤ Asentamiento 85 mm	9 mm	25 mm
➤ Asentamiento 160 mm	10 mm	28 mm
Multilaboratorio		
➤ Asentamiento 30 mm	7 mm	20 mm
➤ Asentamiento 85 mm	10 mm	28 mm
➤ Asentamiento 160 mm	13 mm	37 mm

Fuente: Norma ASTM C143.

2.2.4.2.2 Viscosidad

La viscosidad refleja la resistencia al movimiento del fluido y tiene un papel análogo al del rozamiento en el movimiento de los sólidos. La viscosidad está siempre presente en mayor o menor medida tanto en fluidos compresibles como incompresibles, pero no siempre es necesario tenerla en cuenta. En el caso de los fluidos perfectos o no viscosos su efecto es muy pequeño y no se tiene en cuenta, mientras que en el caso de los fluidos reales o viscosos su efecto es importante y no es posible despreciarlo. En el caso del agua a veces se habla del flujo del agua seca para el flujo no viscoso del agua y del flujo del agua mojada para el flujo viscoso. (Domingo, 2006)

La viscosidad describe la resistencia del material a fluir y sus unidades en el sistema internacional son Pascal por segundo (Pa.s) Un fluido puede definirse como newtoniano o no newtoniano dependiendo de sus propiedades de flujo. Los fluidos newtonianos son aquellos que cumplen la ley de viscosidad de Newton. Para estos fluidos existe una relación lineal entre el esfuerzo de cizalla y la velocidad de cizalla (figura a), es decir, la viscosidad no varía con la velocidad de cizalla (figura b). Además, la viscosidad también es constante con respecto al tiempo (Roussel, 2012-a). Las curvas de flujo y de viscosidad de los fluidos newtonianos se muestran a continuación en la figura 23.

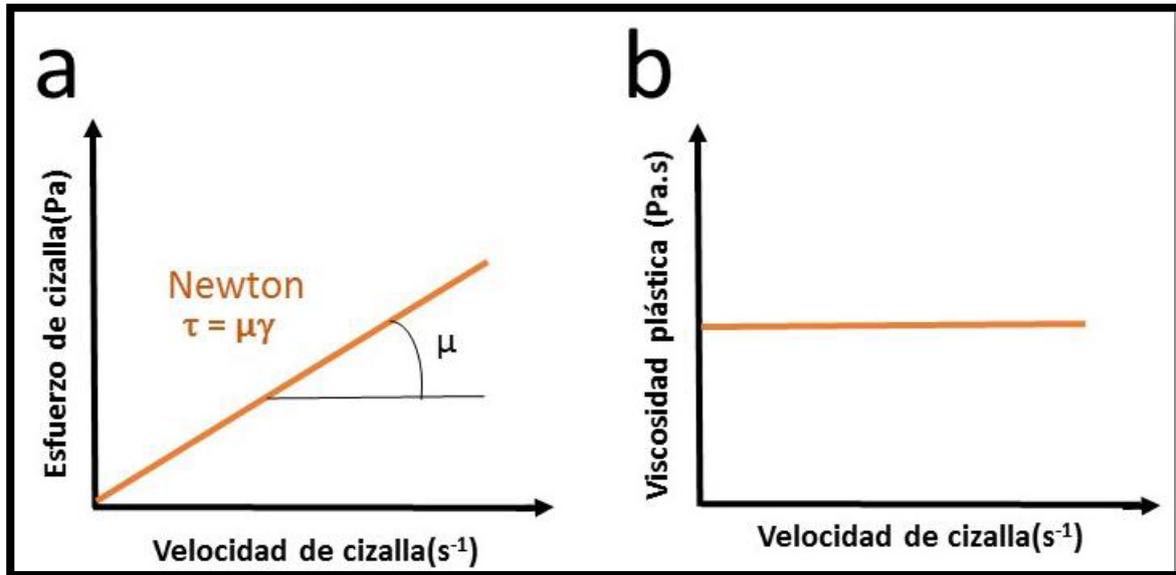


Figura 23: Curvas de flujo y viscosidad de los fluidos newtonianos

Fuente: Roussel, N. (2012).

Para un fluido newtoniano, la viscosidad depende sólo de la temperatura y la presión, y no de las fuerzas que actúan sobre él. Sin embargo, muchos materiales muestran un comportamiento no-newtoniano, en este caso, la viscosidad es función de la velocidad de cizalla. (Moreno Botella, 2005).

A. Tipos de fluidos no newtonianos

Los fluidos no-newtonianos pueden ser de varios tipos: fluidos Bingham, fluidificantes y dilatantes.

1) Fluidos Bingham

El modelo matemático más simple para describir el flujo no-newtoniano es el modelo reológico de Bingham, definido por la ecuación n°1, donde τ es el esfuerzo de cizalla, τ_0 determina el valor del esfuerzo umbral de cizalla (coincide con el punto de corte con el eje de ordenadas), μ proporciona el valor de la viscosidad plástica (pendiente de la recta) y $\dot{\gamma}$ es la velocidad de cizalla. Las curvas de flujo y de viscosidad de los materiales que se ajustan al modelo de Bingham se muestran en la figura 24.

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \dot{\gamma}$$

Ecuación N°1



Los materiales cuyo comportamiento reológico se ajustan al modelo de Bingham, presentan un esfuerzo umbral de cizalla (τ_0) que es el valor del esfuerzo inicial que hay que vencer para que el material comience a fluir y se asocia a la unión y la fusión inicial de los flóculos. La pendiente de la recta, que es la viscosidad plástica, se asocia al tamaño de los flóculos (Banfill, P. 2003). Las propiedades reológicas de las suspensiones de cemento, como las pastas, morteros y hormigones, se ajustan al modelo reológico de Bingham.

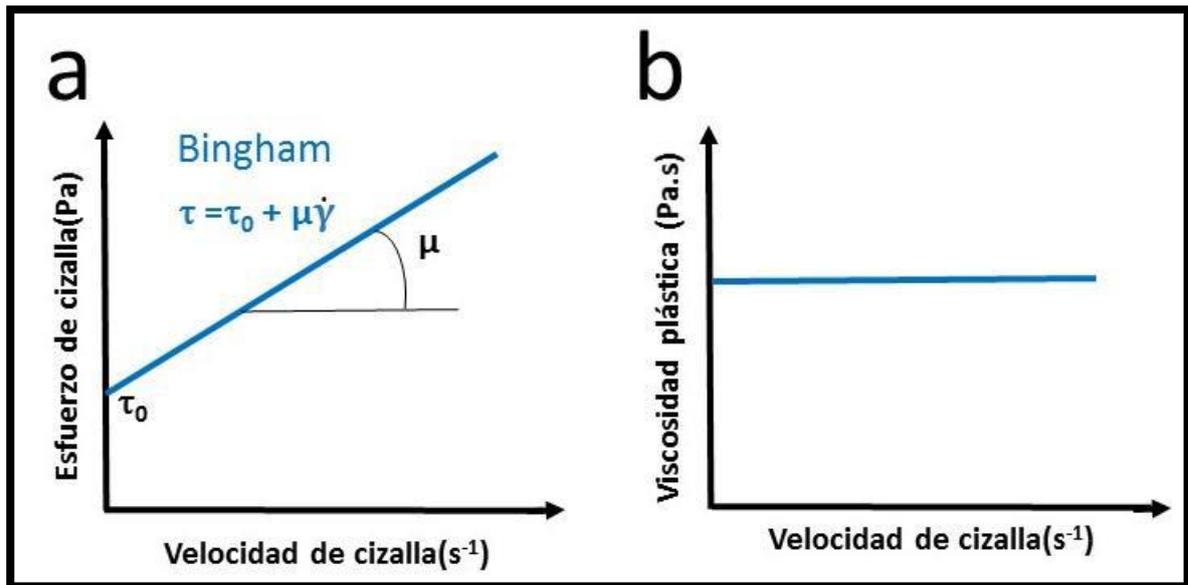


Figura 24: Curvas de flujo y viscosidad para el modelo reológico de Bingham

Fuente: Banfill, P. (2003).

2) Fluidificantes

Otro tipo de fluidos no-newtonianos son los fluidificantes (cizallamiento) que son aquellos fluidos en los que la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de cizalla (ver figura 25). También se les denomina pseudoplásticos. Por el contrario, cuando la viscosidad aumenta al aumentar la velocidad de cizalla se denominan fluidos dilatantes (engrosamiento) o espesantes. En estos fluidos el valor de la viscosidad corresponde a la tangente en cada punto de la curva de flujo y es denominada viscosidad aparente. Estos fluidos se ajustan a la llamada ley de potencia o de Ostwald-de Waele y se rigen por la Ecuación N°3, donde K es el factor de consistencia y n es el índice de fluidez Ecuación.

$$\tau = K (\dot{\gamma})^n$$

Ecuación N°2

Un material se ajusta al modelo de Herschel-Bulkley cuando el material se rige por la ley de la potencia y presenta un valor de esfuerzo umbral de cizalla (ecuación n°3). Estudios reológicos han demostrado que algunas pastas y morteros de escorias activadas alcalinamente con una disolución de vaso de agua ($\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$) se ajustan al modelo reológico de Herschel-Bulkley (Palacios, M., 2006).

$$\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$$

Ecuación N°3

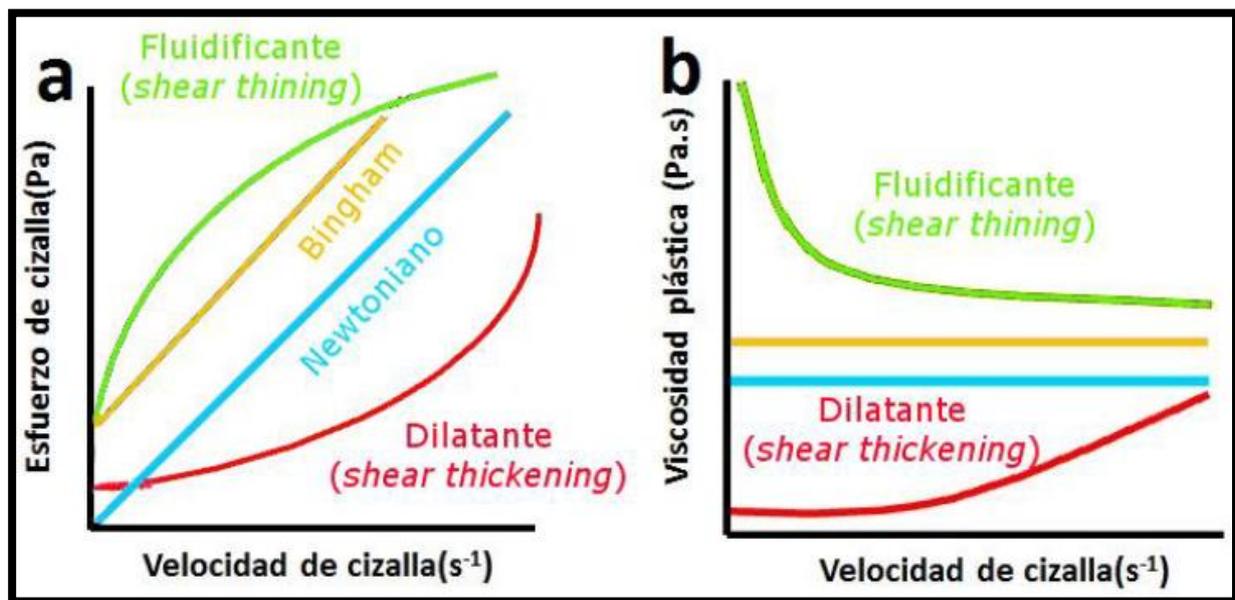


Figura 25: Curvas de flujo y viscosidad de los distintos tipos de comportamiento reológico

Fuente: Palacios, M. (2006).

Asimismo, algunos fluidos no newtonianos exhiben un cambio de su viscosidad con el tiempo. Estos materiales pueden presentar dos tipos de comportamiento: tixotropía y anti-tixotropía o reopexia (Barnes, H.A., 1989; Tanner y Walters, 1998).

3) Fluido tixotrópico

Un fluido tixotrópico es aquel en el que la viscosidad disminuye al aplicar un esfuerzo de cizalla debido a cambios en la estructura del material y tras eliminar el esfuerzo de cizalla se produce la recuperación de su estructura inicial. Este proceso de destrucción y recuperación de la estructura es reversible y requiere de tiempo (Moreno Botella, 2005).

El comportamiento inverso a la tixotropía es la anti-tixotropía o reopexia, y lo experimentan aquellos fluidos que al aplicar una cizalla constante durante un tiempo muestran un aumento de la viscosidad.

La tixotropía de un sistema cementante depende en gran medida de la composición de la mezcla: las características del cemento, los aditivos químicos, las adiciones (escorias vítreas de horno alto, cenizas volantes, etc.), la relación líquido/sólido, el contenido de árido, la densidad de empaquetamiento, así como las condiciones de procesado de la mezcla (González-Taboada et al., 2018). El estudio y comprensión de la tixotropía en morteros y hormigones proporciona información muy interesante para predecir su comportamiento. Un hormigón autocompactante con un valor de tixotropía alto contribuye a reducir las presiones de encofrado y a aumentar la resistencia a la segregación (Roussel y Cussigh, 2008; González-Taboada et al., 2018).

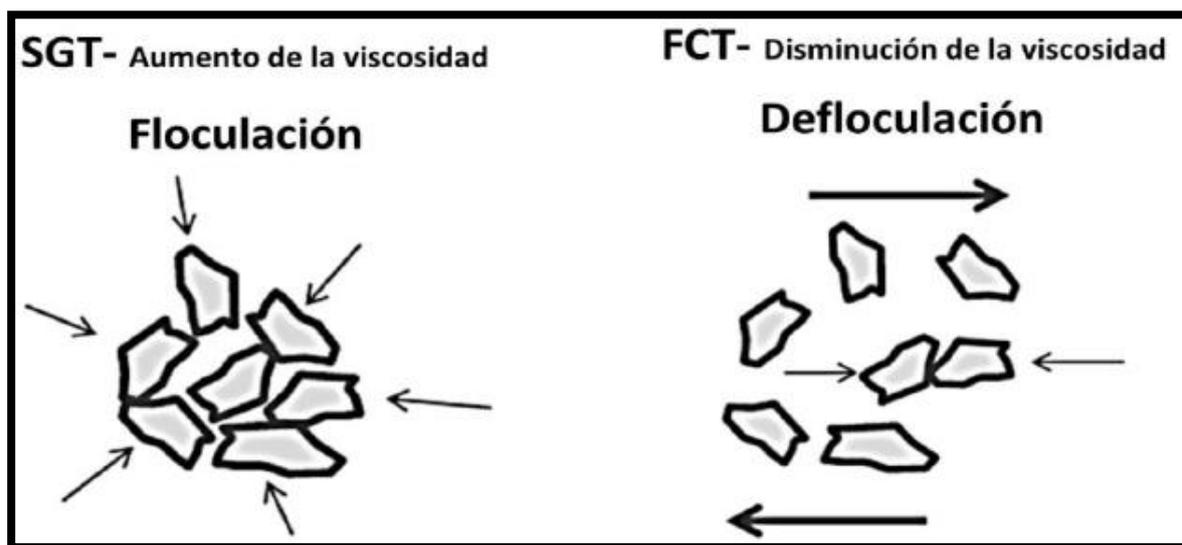


Figura 26: Visualización del comportamiento tixotrópico de materiales cementosos

Fuente: González, T. (2016).

B. Ensayo de viscosidad mediante el viscosímetro de Cilindros Concéntricos (Viscosímetro de Couette)

Objetivo

Determinar la viscosidad del concreto analítica y gráficamente a través de datos experimentales e identificar si es un fluido newtoniano o no newtoniano.



Equipos e instrumentos

1. **Viscosímetro.** - El viscosímetro que se utilizó en este ensayo fue el viscosímetro de cilindros concéntricos. Para la construcción del viscosímetro se emplearon distintos materiales, los cilindros interno y externo, las tapas, base y los soportes fijos fueron contruidos de acero negro, también se empleó una varilla de 8mm torneado hasta un diámetro de 5/16" en el cual se encajó dos rodajes y una polea en el medio con el propósito de tener un sistema de poleas con la otra polea por la cual pasaba el cordel para sujetar las pesas. Las dimensiones del viscosímetro se detallan en la (figura 27).

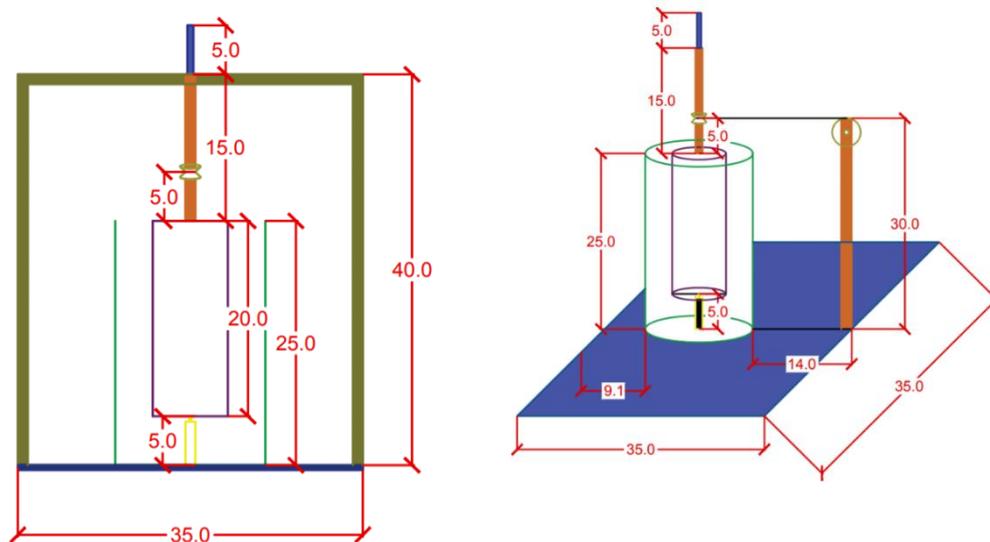


Figura 27: Dimensiones del viscosímetro de Couette

2. **Balanza.** – Instrumento utilizado para registrar los pesos de los componentes del concreto el tipo de balanza utilizado es de precisión 0.5%, con una capacidad máxima de 30 kg.
3. **Recipiente de plástico.** – Utilizado para la elaboración de la mezcla del concreto.
4. **Cucharón metálico o pala de jardinero.** - Instrumento que sirve para remover la muestra de concreto.
5. **Juego de pesas.** – Instrumento utilizado para obtener las 10 mediciones de la viscosidad del concreto.
6. **Sensor rotacional.** - Utilizado para registrar el número de rotaciones del vástago.



7. **Interfaz del sensor Xplorer GLX – Pasco.** - Utilizado para obtener la gráfica de la gradiente de velocidad.
8. **Cordel.** - Sirve para enlazar las pesas con el sistema de poleas.

Funcionamiento del viscosímetro de Couette

- a) El cilindro exterior está unido a un soporte fijo mientras que el cilindro interior se lo hace rotar con una velocidad angular constante w .
- b) Cuando el cilindro interior gira produce una cizalladura que se transmite a través del fluido.
- c) El espesor de fluido es pequeño es por esto que puede suponerse distribución lineal velocidades.
- d) El viscosímetro Couette se emplea para verificar la fabricación de suspensiones, pinturas y productos alimenticios, pero en este caso se adaptó para el concreto incrementando su escala.

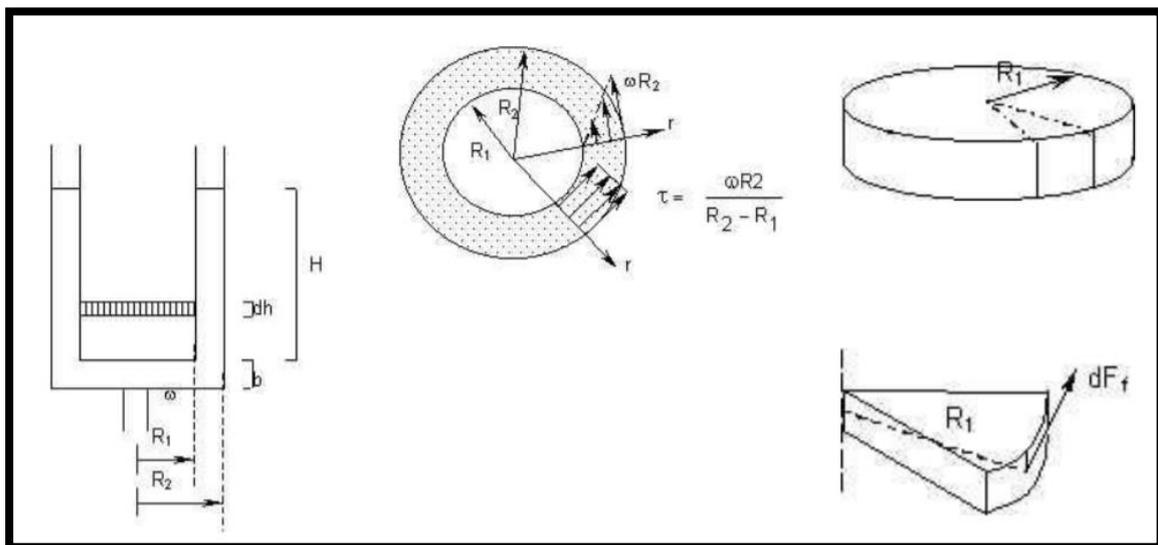


Figura 28: Corte horizontal del viscosímetro de Couette

Descripción de los parámetros del viscosímetro de Couette

El flujo de un fluido en el viscosímetro de cilindros concéntricos es una situación de corte simple como el ilustrado en la sección 2. En este caso el cilindro interno, también llamado vástago, se mueve a una velocidad angular constante Ω , mientras que el cilindro externo, llamado comúnmente copa, se encuentra en reposo (ver figura 29), entre ellos se encuentra el fluido a caracterizar.



El movimiento del cilindro interno se produce por la torca M ejercida por la masa m colocada en la porta pesas que desciende por la acción de la gravedad. Las constantes geométricas que componen a este viscosímetro de cilindros son: R_2 y L_a , el radio interno del cilindro exterior y su altura respectivamente; R_1 es el radio externo del cilindro interior de altura l ; r es el radio de la polea donde se enrolla la cuerda que une al porta pesas; r_b es el radio del cilindro del portapenas de altura h ; m es la masa total del porta pesas; L_b es la distancia de la copa del viscosímetro al centro de la polea de radio r_a .

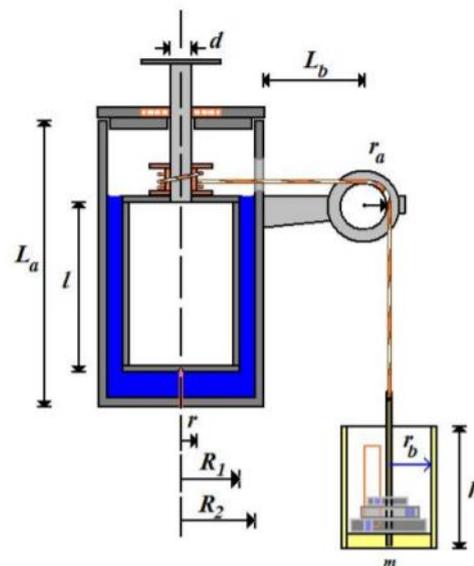


Figura 29: Diagrama esquemático que ilustra el viscosímetro de cilindros concéntricos

Fuente: Méndez, A. Pérez, T. (2010).

Para determinar la rapidez de deformación en este sistema se requiere conocer la velocidad tangencial del cilindro de radio R_1 en función de la velocidad del portapenas. En este caso, la velocidad tangencial a la que se mueve el cilindro interno es $v = \Omega R_1$. La velocidad angular está relacionada con la velocidad tangencial v_r de la polea de radio r mediante: $v_r = \Omega r$ y esta velocidad tangencial, es precisamente la velocidad con que desciende el portapenas.

Procedimiento

- 1) Se inicia el ensayo con un cálculo del volumen requerido de concreto en el recipiente de llenado del viscosímetro, determinando una relación del diseño de mezclas por 2 Kg de cemento.



- 2) Una vez pesada todas las cantidades necesarias para la muestra de concreto, se procede con el mezclado, vertiendo en primer lugar el agregado grueso, los agregados finos y el cemento portland, hasta tener una muestra homogénea, enseguida se vierte el agua requerida en pequeñas dosis para poder mezclar y obtener la pasta necesaria del concreto.
- 3) Mientras se está preparando la muestra de concreto para el ensayo, se procede a la instalación y armado del viscosímetro, teniendo precaución con el cordel para enlazar con el sistema de poleas.
- 4) Llenar el cilindro externo (también llamado copa) del viscosímetro, con ayuda de la pala de jardinero o un cucharón de metal en forma circular hasta llenar el recipiente.
- 5) Con el concreto dentro del viscosímetro procedemos a la realizar pruebas de medición, para determinar la rapidez de deformación en este sistema de cilindros concéntricos procedemos a hallar la velocidad tangencial del cilindro interior o vástago en función a la velocidad de las pesas.
- 6) Se hacen 10 mediciones de la velocidad tangencial con el concreto patrón, con diferentes pesos (1.5 Kg, 2 Kg, 2.5 Kg, 3 Kg), se toma el registro de los datos para su posterior procesamiento.
- 7) De igual forma se repiten los pasos ya mencionados para los concretos alterados con el aditivo superplastificante en porcentaje de 0.6%, 0.8%, 1% y 1.5%.
- 8) Finalmente se registra las características y comportamiento de cada muestra concreto ensayado.

Fórmulas y parámetros

La viscosidad se encuentra con la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{mgr(R_2 - R_1)}{2\pi R_1^2 l}$$

El esfuerzo de corte se determina con la siguiente expresión:

$$\tau = \frac{mgr}{2\pi l R_1^2}$$

La deformación del fluido con:

$$\gamma = \frac{V}{R_2 - R_1}$$

La velocidad con:

$$V = GV \times R_1$$



Donde:

m =Valor de las pesas (kg)

g =Gravedad (m/s^2)

r = Radio de la varilla (m)

R_1 = Radio del cilindro interior (m)

R_2 =Radio del cilindro exterior (m)

l =Distancia del vástago (m)

GV =Gradiente de velocidad (rad/s)

V = velocidad (m/s)

2.2.4.3 Compactabilidad

Corresponde a la facilidad con que las mezclas de concreto permiten la remoción del aire atrapado durante el moldeo, a fin de lograr un alto grado de compacidad en el concreto endurecido. (ACI 309).

Es la medida de la facilidad con que puede compactarse el concreto fresco. Existen varios métodos que establecen el denominado “Factor de compactación”, que evalúa la cantidad de trabajo que se necesita para la compactación total, y que consiste en el cociente entre la densidad suelta del concreto en la prueba, dividido entre la densidad del concreto compactado. En nuestro medio no es usual disponer del equipo para la prueba standard que es británica, no obstante, no es muy difícil ni caro implementarlo ya que es muy útil en cuanto a la información que suministra. (Pasquel, 1998).

2.2.4.3.1 Densidad

La densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la densidad.



A. Clasificación del concreto según su densidad

Los concretos se pueden clasificar según las diferentes densidades que posean, es decir, ligeros, normales y pesados. A continuación, se especifican cada una de estas clasificaciones. (Schmitt, Heinrich y Heene, Andreas 2004)

- 1) **Hormigón ligero.** - Con una densidad de 2 t/m^3 como máximo. Además de áridos ligeros como la piedra pómez, las arcillas expandidas y las escorias, también se emplean granulados productores de poros o materiales espumantes.
- 2) **Hormigón normal.** - Con una densidad de más de 2 t/m^3 a $2,8 \text{ t/m}^3$ como máximo con arena y grava como áridos. En todos los casos que no son posibles confusiones con el hormigón ligero o el hormigón pesado se hablará sólo de hormigón.
- 3) **Hormigón de alta densidad o pesado.** - Con una densidad bruta superior a $2,8 \text{ t/m}^3$. Los áridos se componen de espato pesado, magnetita o fragmento de chatarra.

B. Densidad aparente

Se denomina densidad aparente a la relación entre la masa de las partículas y su volumen aparente, que incluye el volumen de los poros saturables y no saturables que hay dentro de las partículas. (Hernández, I. J. 2010).

C. Método de ensayo determinación de la densidad aparente del concreto (NTP 339.046)

Objetivo

Este ensayo cubre la determinación de la densidad aparente del concreto fresco y proporciona fórmulas para calcular el rendimiento de concreto, el contenido de cemento y el contenido de aire del concreto. El rendimiento se define como el volumen del concreto producido con una mezcla de cantidades conocidas de los materiales que la componen.

Importancia y aplicación

El ensayo permite conocer las propiedades de una mezcla de concreto fresco, para el control de la mezcla cada cuando es requerido. Brinda un valor para la densidad y el rendimiento de la mezcla, así como una estimación del contenido de aire de la misma. Es aplicable a las mezclas de concreto fresco fabricadas tanto en laboratorio como en campo.



Requerimientos

Se debe aportar los agregados (piedra y arena), cemento, si se requiere aditivo e indicar el diseño de mezcla por peso. La cantidad de agregados debe ser suficiente para producir un volumen de concreto mayor que el especificado a continuación dependiendo del tamaño máximo del agregado según la tabla.

Tabla 22: Capacidad de los recipientes de medida

Tamaño nominal máximo del agregado grueso		Capacidad del recipiente ^A	
pulgadas	mm	Pie ³	L
1	25.0	0.2	6
1 ½	37.5	0.4	11
2	50.0	0.5	14
3	75.0	1.0	28
4 ½	112.0	2.5	70
6	150.0	3.5	100

^A Se utilizara el tamaño indicado del recipiente para ensayar el concreto que contenga agregado de un tamaño nominal máximo igual o menor al que se encuentra en la lista. El volumen real del recipiente será cuando menos el 95% del volumen nominal listado.

Fuente: Norma ASTM C138

Equipos e instrumentos

- 1. Recipiente de medida.** - El volumen del recipiente de acuerdo al tamaño máximo nominal de agregado grueso, en nuestro caso nuestro TMN es de ¾" lo cual nos dio un volumen de 6L.
- 2. Varilla de apisonado.** - Una varilla de acero redonda, recta y lisa, con un diámetro de 16 mm ± 2 mm (5/8 de pulg ± 1/16 pulg), el largo de la varilla debe ser por lo menos 100 mm (4 pulg) mayor que la profundidad del recipiente donde se hará el apisonado, pero no mayor de 600 m (24 pulg). La varilla debe tener el extremo que apisonar o ambos extremos redondeados en forma de una semiesfera del mismo diámetro de la varilla.
- 3. Balanza.** - Una balanza con exactitud de 45 g (0.1 lb) o al 0.3% de la carga de ensayo lo que sea más grande para cualquier masa dentro del rango de uso. El rango de uso debe abarcar desde la masa del recipiente de medida vacío hasta la masa del recipiente más su contenido a 2600 kg/m³ 160 libra/pie³.



4. **Placa enrrasadora.** - Una placa de acero rectangular y plana de al menos 6 mm ($\frac{1}{4}$ pulg) de espesor o una placa de vidrio o acrílico de al menos 12 mm ($\frac{1}{2}$ pulg) de espesor y con un ancho y largo de por lo menos 50 mm (2 pulg) mayor que el diámetro del recipiente con el cual se usara. Los extremos de la placa deben ser rectos y lisos, con una tolerancia de 2 mm ($\frac{1}{16}$ pulg).
5. **Mazo.** - Un mazo (con cabeza de hule o cuero crudo) que pese aproximadamente 600 + 200 g (1.25 + 0.50 lb) para recipientes de 14 L (0.5 pie³) o menores. Para recipientes más grandes que 0.5 pie³, se usara un mazo que pese aproximadamente 1000 + 200 g (2.25 + 0.50 lbs).
6. **Cucharón.** - Utilizar un cucharón de un tamaño suficiente para que cada cantidad de concreto obtenida del recipiente de la muestra sea representativa y suficientemente pequeña para que no se derrame durante su colocación en el recipiente de medida.

Procedimiento

- 1) Hacer la selección del método de consolidación basado en el ensayo de asentamiento, a menos que las especificaciones del trabajo establezcan un método específico. Los métodos de consolidación son el apisonamiento con varilla y la vibración interna. Apisonar concretos con asentamientos mayores de 75 mm (3 pulg). Apisonar o vibrar concretos con asentamiento de 25 mm a 75 mm (1 pulg a 3 pulg). Consolidar con vibración, los concretos con asentamientos menores a 25 mm (1 pulg).
- 2) Obtener la masa del recipiente de medida (Mm) en kilogramos o libras.
- 3) Una vez obtenida la mezcla de concreto verter en el recipiente en tres capas de aproximadamente el mismo volumen en cada una.
- 4) Varillar cada capa con 25 golpes si se usa recipientes de volumen nominal a 14 L 0.5 pie³) o menores, con 50 golpes cuando se usan recipientes de volumen nominal de 28 L (1 pie³) y un golpe por cada 20 cm² (3 pulg²) de superficie en recipiente de mayor tamaño.
- 5) Varillar cada capa uniformemente sobre toda la sección transversal, con el extremo redondeado de la varilla utilizando el número requerido de golpes. Varillar la capa interior en todo su espesor. Al varillar esta capa debe tenerse cuidado de no dañar el fondo del recipiente.



- 6) Para cada capa superior, la varilla debe penetrar a través de la capa que se esté varillando y en la capa interior, aproximadamente 25 mm (1 pulg).
- 7) Inmediatamente después de culminar con el varillado golpee suavemente los lados del recipiente con el mazo de goma con el propósito de cerrar los espacios vacíos u oquedades dejados por la varilla apisonadora y para liberar las burbujas de aire que hayan sido atrapadas.
- 8) Al culminar la consolidación del concreto, el recipiente de medida no debe contener un exceso o carencia sustancial de concreto. Un exceso de concreto de aproximadamente 3 mm (1/8 de pulg) por encima del tope del recipiente es lo óptimo. Se puede agregar una cantidad pequeña de concreto si es necesario corregir alguna deficiencia. Si el recipiente contiene un excedente grande de concreto después de la consolidación, quite lo necesario con una cuchara de albañil o cucharón inmediatamente después de terminar la consolidación y antes de enrasar el recipiente.
- 9) Luego se procede a remover el exceso de concreto de la superficie superior con el objetivo de dar un acabado suave y bien nivelado con la placa plana de enrasado.
- 10) El enrasado se logra mejor presionando la placa de enrasado sobre la superficie superior del recipiente cubriendo aproximadamente dos terceras partes de esta y retirando la placa con un movimiento a manera de aserrado sobre el área cubierta. Luego colocar la placa en la parte superior del recipiente cubriendo los dos tercios originales de la superficie y avanzarla con una presión vertical y movimiento de aserrado sobre toda la superficie y continuar empujándola hasta que se deslice completamente fuera del recipiente. Varias pasadas con el borde de la placa inclinada producirán una superficie de acabado liso.
- 11) Luego de enrasar y limpiar todo el concreto del exterior del recipiente, registrar el peso del recipiente de medida llenado con concreto (M_c) en kilogramos o libras haciendo uso de una balanza.

Precisión y sesgo

Las siguientes estimaciones de precisión para este método de ensayo se basan en una recolección de datos de varias localidades por la Asociación Nacional de Concreto Premezclado. Los datos representan mezclas de concreto con asentamientos que variaban de 75 mm a 150 mm (3 pulg a 6 pulg) y densidades que variaban de 1842 kg/m³ a 2483 kg/m³ (115 lb/pie³ a 155 lb/pie³), donde había concreto con aire incorporado y sin aire



incorporado. El estudio se realizó usando recipientes de medición de 7 L (0.25 pie³) y 14 L (0.5 pie³).

Precisión de un solo operador. - Se ha encontrado que la desviación estándar de la densidad del concreto recién mezclado, dada por un solo operador, es de 10.4 kg/m³ (0.65 lb/pie³) (1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados por el mismo operador en la misma muestra de concreto no deben diferir en más de 29.6 kg/m³ (1.85 lb/pie³) (d2s).

Precisión de varios operadores. - Se ha encontrado que la desviación estándar de la densidad del concreto recién mezclado dado por varios operadores es de 13.1 kg/m³ (0.82 lb/pie³) (1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados por los dos operadores en la misma muestra de concreto no deben diferir en más de 37.0 kg/m³ (2.31 lb/pie³) (d2s).

Sesgo. Este método de ensayo no tiene sesgo, ya que la densidad está definida únicamente en términos de este método de ensayo.

2.2.4.3.2 Factor de compactación

El factor de compactación se determina por la relación de densidad antes del ensayo comparado con la densidad del mismo concreto completamente compactado. (Hernández, I. J. 2010).

La prueba del factor de compactación es la prueba de trabajabilidad para el concreto que se realiza en el laboratorio.

El factor de compactación es la relación de pesos de hormigón parcialmente compactado a concreto totalmente compactado. Fue desarrollado por Road Research Laboratory en Reino Unido y se utiliza para determinar la trabajabilidad del concreto. (2019 The Constructor - Inicio de Ingeniería Civil).



A. Descripción del aparato de factor de compactación

Según IS1199: 1999 el aparato de prueba de factor de compactación consta de dos tolvas cónicas y un cilindro inferior que está dispuesto como se muestra en la figura siguiente, se usa una varilla de acero de 1.6 cm de diámetro con una longitud de 61 cm para apisonar el concreto y se usa un equilibrio de peso para pesar el hormigón. (<https://civilread.com/concrete-compaction-factor-test/>)



Figura 30: Aparatos e instrumentos para la elaboración del factor de compactación

Fuente: www.civilread.com

B. Pautas a tener en cuenta para el ensayo

- 1) Esta prueba debe llevarse a cabo en un intervalo de tiempo constante después de completar la mezcla de concreto. El tiempo conveniente para liberar el concreto de la tolva superior es dos minutos después de completar la mezcla.
- 2) La prueba de factor de compactación del concreto se usa solo para el concreto donde el tamaño máximo nominal del agregado no excede los 38 mm.
- 3) En la primera caída del concreto (tolva superior a la tolva inferior), el cilindro debe estar cubierto para que el concreto no pueda entrar en el cilindro.
- 4) La prueba del factor de compactación debe llevarse a cabo en un lugar libre de vibraciones o golpes.



Tabla 23: Trabajabilidad, revenimiento y factor de compactación de concretos con tamaño máximo de agregado de 3/4" a 1 1/2" (19mm. a 38 mm)

GRADO DE TRABAJABILIDAD	REVENIMIENTO		FACTOR DE COMPACTACION		Uso Adecuado del Concreto
	mm	pulg	Aparato pequeño	Aparato grande	
Muy pequeño	0 a 25	0 a 1	0.78	0.8	Pavimentos vibrados con maquinas operadas mecanicamente. En el extremo mas trabajable de este grupo, el concreto podra compactarse en ciertos casos con maquinas operadas manualmente.
Pequeño	25 a 50	1 a 2	0.85	0.87	Pavimentos vibrados con maquinas operadas a mano. En el extremo mas trabajable de este grupo, el concreto podra compactarse manualmente en pavimentos que empleen agregados de forma redonda o irregular. Cimentaciones de concreto en masa sin vibrado o secciones con poco refuerzo y vibradas.
Medio	50 a 100	2 a 4	0.92	0.93	En el extremo mas trabajable de este grupo losas planas usando agregados triturados compactadas manualmente.
Alto	100 a 175	4 a 7	0.95	0.96	Para secciones congestionadas de refuerzo. Normalmente no adecuado para vibrarse. Concreto reforzado, compactado a mano y secciones muy reforzadas y vibradas.

Fuente: Pasquel, E. (1998).

C. Método de ensayo para determinar el factor de compactación del concreto (BS 1881: Part 103)

La prueba de factor de compactación es la prueba de trabajabilidad para concreto realizada en laboratorio. El factor de compactación es la relación de pesos de concreto parcialmente compactado a concreto totalmente compactado. Fue desarrollado por Road Research Laboratory en Reino Unido.

Objetivo

Se utiliza para determinar la trabajabilidad del concreto, la prueba del factor de compactación se usa para concreto que tiene una baja trabajabilidad para la cual la prueba de asentamiento no es adecuada.

Resumen

La prueba consiste en llenar el cono superior con concreto depositándolo sin dejarlo caer, para que no haya compactación adicional. A continuación, se abre la compuerta inferior para que caiga por su peso propio y llene el segundo cono con lo que se estandariza la



condición de compactación inicial. Finalmente, luego de enrasar el cono se abre la segunda compuerta y el concreto cae por su peso propio para llenar un molde cilíndrico estándar.

Se obtiene el peso unitario del concreto en el molde y el valor se divide entre el peso unitario obtenido con la prueba estándar en tres capas con 25 golpes cada una. Esta operación debe hacerla una sola persona manteniendo constantes el equipo para el manipuleo y el procedimiento, ya que los resultados están influenciados significativamente por estos aspectos. Hay que tener claro que los valores obtenidos nos sirven para comparar diseños similares para elegir el óptimo, pero no nos da un valor absoluto para comparar diseños con materiales diferentes.

Equipos e instrumentos

- 1. Aparato de factor de compactación.** – Posee las dimensiones siguientes: 1.17m de altura, 0.35m de ancho y una superficie de apoyo de 0.10m de espesor. Está compuesto por dos briquetas de cono invertido, la primera briketa posee un diámetro de 0.25m en la parte superior, 0.13m en la base con un sistema de compuerta hermética, con una altura de 0.28m y una distancia de 0.16m al centro del diámetro con respecto al soporte vertical. La segunda briketa posee un diámetro de 0.23m en la parte superior, 0.13m en la base con un sistema de compuerta hermética, con una altura de 0.23m y una distancia de 0.16m al centro del diámetro con respecto al soporte vertical y también incluye una briketa cilíndrica con sus respectivas agarraderas de 0.15m de diámetro, con una altura de 0.30m y con una separación de 0.09m en cada lado de apoyo con respecto a la superficie de apoyo. Cada briketera mencionada anteriormente tiene una separación de 0.20m.
- 2. Balanza.** - Una balanza de precisión 0.5%, con una capacidad máxima de 30 kg.
- 3. Varilla apisonadora.** - Una varillada de acero redonda y recta de un diámetro de 16 mm ($\frac{5}{8}$ pulg) y de aproximadamente 610mm (24 pulg) de largo, que tenga su extremo de apisonar redondeado a una punta hemisférica de un diámetro de 16 mm ($\frac{5}{8}$ pulg).
- 4. Cuchara:** De tamaño suficientemente grande para que cada una de las cantidades obtenidas de concreto permeable desde el recipiente de muestra sea representativo y



lo suficientemente pequeño como para que el concreto no salpique durante su colocación en el medidor.

Procedimiento

- a) Asegurar que las superficies internas de las tolvas y el cilindro sean lisos, limpios y húmedos
- b) Registrar el peso del cilindro vacío (W1) en kg con la ayuda de la balanza.
- c) Colocar el aparato en una superficie libre de vibraciones o golpes de tal manera que sea estable con los ejes de las tolvas y el cilindro, todos en la misma línea vertical. Cerrar las dos trampillas de las tolvas y asegure tuercas mariposa del cilindro.
- d) Una vez mezclada la muestra colocar suavemente en la tolva superior usando la cuchara hasta que la tolva se llene a nivel del borde.
- e) Abrir la trampilla superior para que el concreto caiga en la tolva inferior repita el procedimiento en la segunda tolva para que caiga en el cilindro.
- f) Ciertas mezclas tienden a adherirse a una o ambas tolvas. Si esto ocurre, se puede ayudar al concreto empujando la varilla suavemente hacia el concreto desde la parte superior.
- g) Luego desajuste las tuercas de fijación y retire el cilindro del aparato.
- h) Seguidamente cortar el exceso de concreto que queda por encima del nivel de la parte superior del cilindro, con ayuda de la varilla enrasadora dejando una superficie plana y limpiar los restos de concreto que existieran en el exterior del cilindro.
- i) Registrar el peso el concreto parcialmente compactado (W2) en kg.
- j) Vaciar el concreto parcialmente compactado del cilindro y vuelva a llenarlo con concreto de la misma muestra de tal manera que elimine la mayor cantidad de aire atrapado posible (sin reducir significativamente la cantidad de arrastre) y para producir una compactación completa del concreto sin segregación ni lechada excesiva.
- k) Para este propósito con la ayuda de la cuchara coloque el concreto en el cilindro en 3 capas con 25 golpes, compactar cada capa usando la varilla compactadora.
- l) Finalmente registre el peso del concreto totalmente compactado (W3) en kg.

Precisión y sesgo

En la medida que el factor de compactación se acerque más a la unidad obtendremos el diseño más eficiente en cuanto a la compactabilidad. En la tabla 24 se pueden observar valores de revenimiento o slump comparados con mediciones de factor de compactación

para diferentes condiciones de trabajabilidad. De nuestra experiencia personal en el uso del método estándar hemos concluido en que es sumamente útil para discriminar entre mezclas con grados de compactabilidad bastante diferentes, sin embargo, no es muy sensible a pequeños cambios en granulometría.

En base a esto estamos desarrollando una alternativa en la cual cambiamos el molde cilíndrico por un molde prismático de 0.20 x 0.20 x 0.30 m que representa más fielmente las dificultades reales en cuanto a compactabilidad en las esquinas de los encofrados. Aún no contamos con suficiente cantidad de pruebas para establecer conclusiones estadísticas válidas pero las tendencias indican que con esta variante se podría reflejar variaciones pequeñas en gradación o en las consecuencias del empleo de aditivos plastificantes.

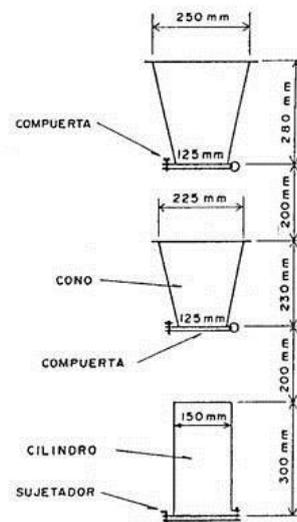


Figura 31: Características del equipo para medir factor de compactación

Fuente: (<https://civilgeeks.com/2011/12/11/propiedades-principales-del-concreto/>, 2017)

Tabla 24: Valores de trabajabilidad de asentamiento y factor de compactación en función a sus usos en la construcción

Trabajabilidad	Slump (mm)	F.C	Usos
Muy Bajo	0 - 25	0.78	Caminos - Pavimentos
Bajo	25 - 50	0.85	Fundaciones de Concreto
Medio	25 - 100	0.92	Concreto Reforzado
Alto	100 - 175	0.95	Concreto Armado (Alto Esfuerzo)

Fuente: BS 1881: Parte 103: 1983



Fórmulas y parámetros

RANGOS PARA EL FACTOR DE COMPACTACION	
0.78	0.95

$FACTOR DE COMPACTACION(FC) = \frac{(W2 - W1)}{(W3 - W1)}$
--

Donde:
W1 = Peso del cilindro vacío, kg
W2 = Peso del cilindro parcialmente compactado, kg
W3 = Peso del cilindro totalmente compactado, kg

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis general

Las propiedades reológicas del concreto adicionado con aditivo superplastificante del 0.6% - 1.5% son mejores en comparación de un concreto patrón $f'c=210$ kg/cm² en la ciudad del Cusco.

2.3.2 Sub hipótesis

2.3.2.1 Hipótesis específica N°1

El concreto con aditivo superplastificante del 0.6% - 1.5% presenta una mejor estabilidad que el concreto patrón $f'c=210$ kg/cm² con respecto a la segregación y exudación en la ciudad del Cusco.

2.3.2.2 Hipótesis específica N°2

El concreto con aditivo superplastificante del 0.6% - 1.5% presenta una mejor movilidad que el concreto patrón $f'c=210$ kg/cm² con respecto a la viscosidad y cohesión en la ciudad del Cusco.

2.3.2.3 Hipótesis específica N°3

El concreto con aditivo superplastificante del 0.6% - 1.5% presenta una mejor compactabilidad que el concreto patrón $f'c=210$ kg/cm² con respecto a la densidad y factor de compactación en la ciudad del Cusco.



2.4 Definición de variables

2.4.1 Variables independientes

- Agregado grueso, (m³).
- Agregado fino, (m³).
- Cemento, (bls).
- Aditivo superplastificante, (% en volumen por peso de cemento).

2.4.1.1 Indicadores independientes

- Segregación, (%).
- Exudación, (%).
- Cohesión, (pulg).
- Viscosidad, (Pa. s).
- Densidad, (kg/m³).
- Factor de compactación, (kg/kg).

2.4.2 Variables dependientes

- Estabilidad.
- Movilidad.
- Compactabilidad.

2.4.2.1 Indicadores dependientes

- Dosificación del agregado fino, (kg)
- Dosificación del agregado grueso, (kg)
- Dosificación del cemento Yura Portland tipo IP, (kg)
- Dosificación del aditivo superplastificante, (kg)



2.4.3 Cuadro de operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	DENOMINACION DE VARIABLE	DESCRIPCIÓN	NIVEL	INDICADOR	INSTRUMENTO METODOLOGICO	INSTRUMENTO DE INGENIERIA
INDEPENDIENTE	X1: Concreto	El concreto es una mezcla adecuadamente dosificada, de cemento, agua y agregados finos y gruesos.	Cemento	Bls	Fichas técnicas y Hojas electrónicas	Diseño de mezclas, Fichas de laboratorio, Balanzas
			AG. GRUESO	m ³	Fichas técnicas y Hojas electrónicas	Diseño de mezclas, Fichas de laboratorio, Balanzas
			AG. FINO	m ³	Fichas técnicas y Hojas electrónicas	Diseño de mezclas, Fichas de laboratorio, Balanzas
			AGUA	Lts	Fichas técnicas y Hojas electrónicas	Diseño de mezclas, Fichas de laboratorio, Balanzas
	X2: Aditivo Superplastificante	Consiste en un líquido especial que le da al concreto características como incremento de trabajabilidad, gran estabilidad, alta fluidez y reduce la relación agua/cemento.	Aditivo Superplastificante Dynamon SP1 del 0.6% - 1.5%	%	Fichas técnicas y Hojas electrónicas	Diseño de mezclas, Fichas de laboratorio, Balanzas
DEPENDIENTE	Y1: Reología del concreto	La reología es la ciencia del flujo y deformación de la materia del concreto la cual estudia las propiedades del concreto en estado fresco como la Estabilidad, Movilidad y Compactabilidad. Es una ciencia relativamente nueva.	Estabilidad	Segregación (%)	Fichas de recolección Tablas de resultados (NTP 339.218)	Molde tipo columna
				Exudación (%)	Fichas de recolección Tablas de resultados (NTP 339.077)	Recipiente cilindrico de exudacion
			Movilidad	Cohesion (pulg)	Fichas de recolección Tablas de resultados (NTP 339.035)	Cono de abrams
				Viscosidad (Pas.sec)	Fichas de recolección Tablas de resultados(Viscosimetro de Cilindros Concentricos)	Viscosimetro de cilindros concentricos (Couette)
			Compactabilidad	Densidad (Kg/m ³)	Fichas de recolección Tablas de resultados (NTP 339.046)	Recipiente cilindrico de medida
				Factor de compactacion (kg/kg)	Fichas de recolección Tablas de resultados (BS 1881: Part 103)	Aparato de factor de compactacion



Capítulo III: Metodología

3.1 Metodología de la investigación

3.1.1 Enfoque de la investigación

Según Sampieri (2014) la investigación es cuantitativa, ya que es secuencial y probatorio porque cada fase precede a la siguiente y no podemos eludir pasos, utilizando la recolección de datos los cuales se basará en resultados medibles y métodos estadístico para probar las hipótesis. Para el estudio de las propiedades reológicas del concreto (Estabilidad, Movilidad, Compactabilidad).

3.1.2 Nivel o alcance de la investigación

Según Sampieri (2014) la investigación es de nivel Descriptivo - Correlacional descriptivo ya que se analizó y recolecto datos de forma independiente respecto a las variables de la investigación, correlacional porque evaluamos el grado de asociación de las variables midiéndolas, cuantificándolas y estableciendo las vinculaciones.

La presente investigación tiene como propósito describir y establecer relaciones entre propiedades reológicas del concreto, a través de procesos de recolección de datos por medio de ensayos de laboratorio, de acuerdo a las normativas empleadas y con el fin de extraer generalidades significativas que contribuyan al conocimiento.

3.1.3 Método de la investigación

De acuerdo a Sampieri (2014) el método de la investigación es Hipotético-Deductivo porque tiene varios pasos esenciales: observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno, deducción de consecuencias o proposiciones más elementales que la propia hipótesis, y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia. En la tesis se plantea la hipótesis general y sub hipótesis con respecto a las propiedades reológicas del concreto, cuyas afirmaciones son verificadas.



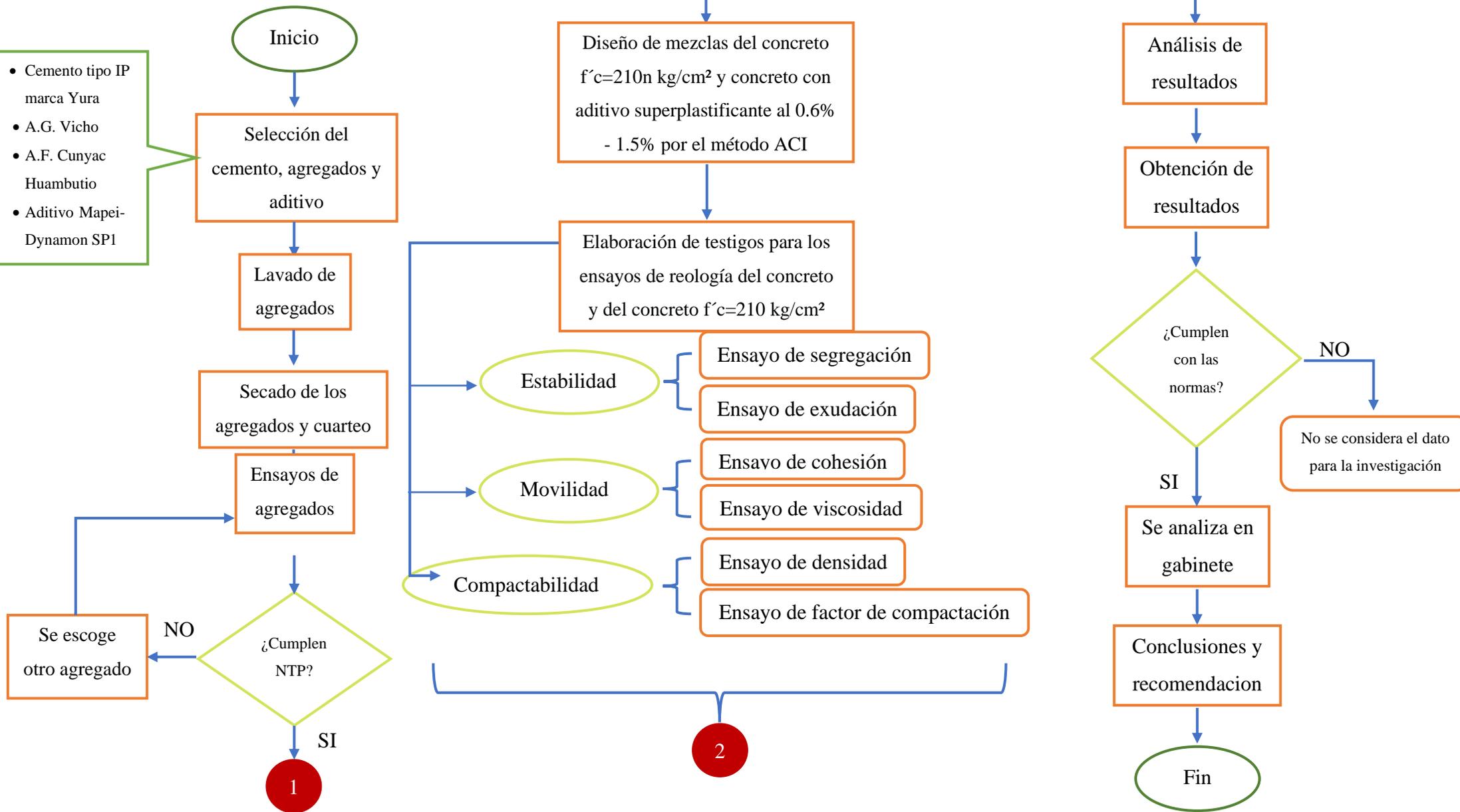
3.2 Diseño de la investigación

3.2.1 Diseño metodológico

Según Sampieri (2014) el diseño de investigación de la tesis es experimental y según categorías de Campbell y Stanley (1966) son experimentos “puros” porque se manipula las variables independientes y se miden las variables dependientes teniendo un control y validez de las mismas.



3.2.2 Diseño de ingeniería





3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

3.3.1.1 Descripción de la población

La población es un conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones, es la totalidad del fenómeno a estudiar donde las entidades de la población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación. Sampieri (2014).

Dicha población está constituida por un concreto $f'c=210$ kg/cm² en estado fresco elaborado con agregados grueso de Vicho y agrados finos de Huambutio y Cunyac, adicionado con aditivo superplastificante Mapei SP1 al 0.6% - 1.5% en la ciudad del Cusco.

3.3.1.2 Cuantificación de la población

Al ser estudio nuevo con muestras de concreto no establecidas se consideró una población infinita y se empleó la siguiente formula:

$$A = \frac{Z^2 \times p \times q}{e^2}$$

Donde:

Z= Nivel de confianza (correspondiente con la tabla de valores de Z).

p= porcentaje de la población que tiene el atributo deseado.

q= Porcentaje de la población que no tiene el atributo deseado =1-p Nota: cuando no hay indicación de la población que posee o no el atributo, se asume 50% para p y 50% para q.

e= Error de estimación máximo aceptado.

n= Tamaño de la muestra en mezclas de concreto.

Teniendo en cuenta los siguientes datos:

Z=1.96

p=50%

q=50%

e=8%



Tabla 25:Valores de confianza para la tabla Z

Valores de confianza tabla Z	
95%	1.96
90%	1.65
91%	1.70
92%	1.76
93%	1.81
94%	1.89

Fuente: Freund, John y Gary Simon, Estadística elemental, México, D.F., Ed. Prentice may, 1994.

La población para la investigación fue de 300 muestras de concreto en estado fresco elaborados con agregados grueso y finos adicionado con aditivo superplastificante, teniendo en cuenta que es un estudio nuevo y no se cuenta con rangos establecidos se consideró la necesidad de realizar 10 repeticiones por cada ensayo, en las 5 dosificaciones planteadas.

3.3.2 Muestra

3.3.2.1 Descripción de la muestra

El número de muestras ensayadas fue la población integral, conformadas de mezclas de concreto $f'c=210$ kg/cm² en estado fresco y las mezclas de concreto con aditivo súper plastificante al 0.6%, 0.8%, 1% y 1.5%, las cuales han sido sometidas a los ensayos de segregación, exudación, viscosidad, cohesión, densidad y factor de compactación para determinar la estabilidad, movilidad y compactabilidad del concreto.

3.3.2.2 Cuantificación de la muestra

En la presente investigación se toma la cantidad total de la población, tomando en consideración que la investigación no tiene antecedentes por lo que se elaboró un total de 300 muestras de concreto $f'c=210$ kg/cm² y adiciona con aditivo superplastificante, donde se realizó 6 ensayos con 10 muestras y 5 dosificaciones diferentes.



3.3.2.3 Método de muestreo

El muestreo no probabilístico es una técnica de muestreo que consiste en seleccionar una muestra de la población por el hecho de que sea accesible. Es decir, los individuos empleados en la investigación se seleccionan porque están fácilmente disponibles, no porque hayan sido seleccionados mediante un criterio estadístico Hernández Sampieri (2014).

Para la presente investigación se utilizará el método no probabilístico puesto que se evaluará a toda la población y debido a que no existe una norma que rija la cantidad de muestras a utilizar.

3.3.2.4 Criterios de evaluación de muestra

1. Se sometió al ensayo de segregación según la técnica de la columna el cual tuvo los rangos 0% – 0.6%, establecidos por la investigación “Influencia del aditivo superplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto, en la ciudad de Huancayo” y para el procedimiento y cálculo según la NTP 339.218:2008.
2. Se sometió al ensayo de exudación según la el método A (muestra consolidada por varillado), el cual tuvo los rangos de 0.71% – 2% según la NTP 339.077:2003.
3. Se sometió al ensayo de densidad mediante el ensayo de densidad aparente, el cual tuvo los rangos de 2200 kg/m³ – 2400 kg/m³ según la NTP 339.046:2008.
4. Se sometió al ensayo de factor de compactación según el método británico, el cual tuvo los rangos 0.78 – 0.95 según la norma BS:1881: Part 103.
5. Se sometió al ensayo de cohesión según el ensayo de revenimiento, el cual tuvo los rangos de 2200 kg/m³ – 2400 kg/m³ según la NTP 339.035:2009.
6. Se sometió al ensayo de viscosidad sabiendo que no hay rangos establecidos y se tomó los resultados obtenidos de la investigación “Desarrollo de concretos fluidos coloreados a reología adaptada, aplicados a la construcción de edificaciones de concreto en Lima”. y para el procedimiento y cálculo se utilizó el libro de mecánica de fluidos del autor Irving H. Shames.



3.3.3 Criterios de inclusión

1. Agregado grueso de la cantera Vicho del distrito San Salvador, provincia de Calca y departamento del Cusco cumpliendo la NTP 400.017.
2. Agregado fino de las canteras de Cunyac se localiza en el departamento de Apurímac en la carretera que conduce hacia Abancay y Huambutio del distrito de lucre, provincia de Quispicanchi y Departamento del Cusco cumpliendo la NTP 400.013
3. Cemento Portland tipo IP de la empresa Yura del distrito de Yura y departamento de Arequipa.
4. Agua potable de la empresa privada Seda Cusco cumpliendo la NTP 339.088.
5. Aditivo superplastificante Mapei Dynamon SP1 de base acrílica modificada en dosificaciones del 0.6%, 0.8%, 1% Y 1.5%.
6. Se evaluará la segregación, exudación, densidad, revenimiento, factor de compactación y viscosidad.
7. Diseño de mezclas con las proporciones por kilo de cemento:

Tabla 26: Proporcionamiento del diseño de mezclas

CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	AGUA
1.00	1.66	2.95	0.52



3.4 Instrumentos

3.4.1 Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

3.4.1.1 Hoja de recolección de datos para el ensayo de segregación

Tabla 27: Recolección de datos para el ensayo de segregación

	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</p> <p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p>ESTABILIDAD</p>	
<p>Tesis: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DEL CONCRETO F´C=210 KG/CM2 CON UN CONCRETO CON SUPERPLASTIFICANTE DEL 0.6% - 1.5%, CUSCO 2019"</p>		
<p>ENSAYO: SEGREGACION DEL CONCRETO</p>		
<p>TESISTAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ROY JONATHAN ROSAS ROZAS • JORGE JESUS VALER VERA 		
<p>REFERENCIA NORMATIVA: NTP 339.218 – SEGREGACION ESTATICA DEL CONCRETO</p>		
<p>LUGAR: LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTO, MATERIALES Y CONCRETO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</p>		
<p>FECHA: 30/05/2019</p>		
<p>ENSAYO DE SEGREGACION PARA EL CONCRETO F´C=210KG/CM²</p>		
PESO RETENIDOS:	PESO RETENIDO SUPERIOR (kg)	PESO RETENIDO INFERIOR (kg)
Muestra N°01		
Muestra N°02		
Muestra N°03		
Muestra N°04		
Muestra N°05		
Muestra N°06		
Muestra N°07		
Muestra N°08		
Muestra N°09		
Muestra N°10		
<p>ENSAYO DE SEGREGACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6%</p>		
PESO RETENIDOS:	PESO RETENIDO SUPERIOR (kg)	PESO RETENIDO INFERIOR (kg)
Muestra N°01		
Muestra N°02		
Muestra N°03		
Muestra N°04		
Muestra N°05		
Muestra N°06		
Muestra N°07		
Muestra N°08		
Muestra N°09		
Muestra N°10		



3.4.1.2 Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación

Tabla 28: Recolección de datos para el ensayo de exudación

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL ESTABILIDAD				
Tesis: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DEL CONCRETO F' C=210 KG/CM2 CON UN CONCRETO CON SUPERPLASTIFICANTE DEL 0.6% - 1.5%, CUSCO 2019"					
ENSAYO: EXUDACION DEL CONCRETO					
TESISTAS: <ul style="list-style-type: none"> • ROY JONATHAN ROSAS ROZAS • JORGE JESUS VALER VERA 					
REFERENCIA NORMATIVA: NTP 339.077 – DETERMINACION DE LA EXUDACION DEL CONCRETO					
LUGAR: LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTO, MATERIALES Y CONCRETO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FECHA: 22/05/2019					
ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO F' C=210KG/CM² - MUESTRA 1					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10				
10	20				
10	30				
10	40				
30	70				
30	100				
30	130				
30	160				
30	190				
30	220				
30	250				

Datos:	
A	0.00 cm ²
VT	0.00 ml
WT	0.00 kg
WM	0.00 kg
WA	0.00 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6% - MUESTRA 1					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10				
10	20				
10	30				
10	40				
30	70				
30	100				
30	130				
30	160				
30	190				
30	220				
30	250				

Datos:	
A	0.00 cm ²
VT	0.00 ml
WT	0.00 kg
WM	0.00 kg
WA	0.00 kg



3.4.1.3 Hoja de recolección de datos para el ensayo de cohesión

Tabla 29: Recolección de datos para el ensayo de cohesión

 <p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL MOVILIDAD</p> 																								
<p>Tesis: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DEL CONCRETO F´C=210 KG/CM2 CON UN CONCRETO CON SUPERPLASTIFICANTE DEL 0.6% - 1.5%, CUSCO 2019"</p>																								
<p>ENSAYO: COHESIÓN DEL CONCRETO</p>																								
<p>TESISTAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ROY JONATHAN ROSAS ROZAS • JORGE JESUS VALER VERA 																								
<p>REFERENCIA NORMATIVA: ASTM C143 – REVENIMIENTO DEL CONCRETO</p>																								
<p>LUGAR: LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTO, MATERIALES Y CONCRETO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</p>																								
<p>FECHA: 21/05/2019</p>																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">ENSAYO DE COHESION PARA EL CONCRETO F´C=210KG/CM²</th> </tr> <tr> <th style="width: 50%;">DATOS:</th> <th style="width: 50%;">MEDICION DEL SLUMP (pulg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Muestra N°01</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°02</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°03</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°04</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°05</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°06</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°07</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°08</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°09</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°10</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ENSAYO DE COHESION PARA EL CONCRETO F´C=210KG/CM ²		DATOS:	MEDICION DEL SLUMP (pulg)	Muestra N°01		Muestra N°02		Muestra N°03		Muestra N°04		Muestra N°05		Muestra N°06		Muestra N°07		Muestra N°08		Muestra N°09		Muestra N°10	
ENSAYO DE COHESION PARA EL CONCRETO F´C=210KG/CM ²																								
DATOS:	MEDICION DEL SLUMP (pulg)																							
Muestra N°01																								
Muestra N°02																								
Muestra N°03																								
Muestra N°04																								
Muestra N°05																								
Muestra N°06																								
Muestra N°07																								
Muestra N°08																								
Muestra N°09																								
Muestra N°10																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">ENSAYO DE COHESION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6%</th> </tr> <tr> <th style="width: 50%;">DATOS:</th> <th style="width: 50%;">MEDICION DEL SLUMP (pulg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Muestra N°01</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°02</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°03</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°04</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°05</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°06</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°07</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°08</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°09</td><td></td></tr> <tr><td>Muestra N°10</td><td></td></tr> </tbody> </table>	ENSAYO DE COHESION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6%		DATOS:	MEDICION DEL SLUMP (pulg)	Muestra N°01		Muestra N°02		Muestra N°03		Muestra N°04		Muestra N°05		Muestra N°06		Muestra N°07		Muestra N°08		Muestra N°09		Muestra N°10	
ENSAYO DE COHESION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6%																								
DATOS:	MEDICION DEL SLUMP (pulg)																							
Muestra N°01																								
Muestra N°02																								
Muestra N°03																								
Muestra N°04																								
Muestra N°05																								
Muestra N°06																								
Muestra N°07																								
Muestra N°08																								
Muestra N°09																								
Muestra N°10																								



3.4.1.4 Hoja de recolección de datos para el ensayo de viscosidad

Tabla 30: Recolección de datos para el ensayo de viscosidad

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL MOVILIDAD	
Tesis: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DEL CONCRETO F'C=210 KG/CM2 CON UN CONCRETO CON SUPERPLASTIFICANTE DEL 0.6% - 1.5%, CUSCO 2019"		
ENSAYO: VISCOSIDAD DEL CONCRETO		
TESISTAS:	<ul style="list-style-type: none"> • ROY JONATHAN ROSAS ROZAS • JORGE JESUS VALER VERA 	
REFERENCIA NORMATIVA:	Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 4, No. 1, Jan. 2010 - VISCOSIMETRO DE CILINDROS CONCENTRICOS	
LUGAR:	LABORATORIO DE FISICA DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
FECHA:	26/09/2019	
ENSAYO DE VISCOSIDAD PARA EL CONCRETO F'C=210KG/CM²		
MUESTRA	GRADIENTE DE VELOCIDAD (rad/s)	MASA (KG)
N° 1		
N° 2		
N° 3		
N° 4		
N° 5		
N° 6		
N° 7		
N° 8		
N° 9		
N° 10		
ENSAYO DE VISCOSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6%		
MUESTRA	GRADIENTE DE VELOCIDAD (rad/s)	MASA (KG)
N° 1		
N° 2		
N° 3		
N° 4		
N° 5		
N° 6		
N° 7		
N° 8		
N° 9		
N° 10		



3.4.1.5 Hoja de recolección de datos para el ensayo de densidad

Tabla 31: Recolección de datos para el ensayo de densidad

	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL COMPACTABILIDAD</p>		
<p>Tesis: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DEL CONCRETO F´C=210 KG/CM2 CON UN CONCRETO CON SUPERPLASTIFICANTE DEL 0.6% - 1.5%, CUSCO 2019"</p>			
<p>ENSAYO: DENSIDAD DEL CONCRETO</p>			
<p>TESISTAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ROY JONATHAN ROSAS ROZAS • JORGE JESUS VALER VERA 			
<p>REFERENCIA NORMATIVA: NTP 339.046 – DETERMINACION DE LA DENSIDAD APARENTE DEL CONCRETO</p>			
<p>LUGAR: LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTO, MATERIALES Y CONCRETO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</p>			
<p>FECHA: 25/05/2019</p>			
<p>ENSAYO DE DENSIDAD PARA EL CONCRETO F´C=210KG/CM²</p>			
MUESTRA	Mc: MASA DEL RECIPIENTE DE MEDIDA LLENADO CON CONCRETO (KG)	Mm: MASA DEL RECIPIENTE DE MEDIDA (KG)	Vm: VOLUMEN DE DEL RECIPIENTE DE MEDIDA (M ³)
N°1			
N°2			
N°3			
N°4			
N°5			
N°6			
N°7			
N°8			
N°9			
N°10			
<p>ENSAYO DE DENSIDAD PARA EL CONCRETO F´C=210KG/CM²</p>			
MUESTRA	Mc: MASA DEL RECIPIENTE DE MEDIDA LLENADO CON CONCRETO (KG)	Mm: MASA DEL RECIPIENTE DE MEDIDA (KG)	Vm: VOLUMEN DE DEL RECIPIENTE DE MEDIDA (M ³)
N°1			
N°2			
N°3			
N°4			
N°5			
N°6			
N°7			
N°8			
N°9			
N°10			



3.4.1.6 Hoja de recolección de datos para el ensayo de compactación

Tabla 32: Recolección de datos para el ensayo de factor de compactación

	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL COMPACTABILIDAD</p>		
<p>Tesis: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DEL CONCRETO F'C=210 KG/CM2 CON UN CONCRETO CON SUPERPLASTIFICANTE DEL 0.6% - 1.5%, CUSCO 2019"</p>			
<p>ENSAYO: FACTOR DE COMPACTACION DEL CONCRETO</p>			
<p>TESISTAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ROY JONATHAN ROSAS ROZAS • JORGE JESUS VALER VERA 			
<p>REFERENCIA NORMATIVA: BS:1881: Part 103 METODO PARA DETERMINACION DEL FACTOR DE COMPACTACION I</p>			
<p>LUGAR: LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTO, MATERIALES Y CONCRETO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</p>			
<p>FECHA: 21/05/2019</p>			
<p>ENSAYO DE FACTOR DE COMPACTACION PARA EL CONCRETO F'C=210KG/CM²</p>			
MUESTRA	W1: PESO DEL CILINDRO VACIO (KG)	W2: PESO DEL CONCRETO PARCIALMENTE COMPACTADO (KG)	W3: PESO DEL CONCRETO TOTALMENTE COMPACTADO (KG)
N°1			
N°2			
N°3			
N°4			
N°5			
N°6			
N°7			
N°8			
N°9			
N°10			
<p>ENSAYO DE FACTOR DE COMPACTACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6%</p>			
MUESTRA	W1: PESO DEL CILINDRO VACIO (KG)	W2: PESO DEL CONCRETO PARCIALMENTE COMPACTADO (KG)	W3: PESO DEL CONCRETO TOTALMENTE COMPACTADO (KG)
N°1			
N°2			
N°3			
N°4			
N°5			
N°6			
N°7			
N°8			
N°9			
N°10			



3.4.2 Instrumentos de ingeniería

Los instrumentos utilizados en la presente tesis son los siguientes:

Recipiente cilíndrico. - El uso que se le dio fue el de realizar el almacenamiento del concreto durante el proceso de exudación del concreto.



Figura 32: Recipiente cilindro

Molde tipo columna. – El uso que se le dio al tubo plástico PVC cedula 40 fue el de almacenamiento mediante el proceso de segregación.



Figura 33: Molde tipo columna.



Jeringa. – Utilizada para extraer el agua del concreto almacenado en el recipiente de exudación.



Figura 34: Jeringa

Probeta de 1000ml.- Utilizada para recolectar el agua extraída de la exudación del concreto.



Figura 35: Probeta de 1000ml

Placa colectora. - El uso que se le dio fue el de recolectar el concreto del molde tipo columna.



Figura 36: Placa colectora



Cono de Abrams. - Fue utilizado para cuantificar el ensayo de cohesión.



Figura 37: Cono de Abrams

Recipiente de medida. - Instrumento que fue utilizado para elaborar el ensayo de densidad.



Figura 38: Recipiente de medida

Sensor rotacional e interfaz. - El uso que se le dio fue el de determinar la rapidez de deformación.



Figura 39: Sensor rotacional e interfaz



Viscosímetro de cilindros concéntricos. - Fue utilizado para el procedimiento del ensayo de viscosidad del concreto.



Figura 40: Viscosímetro de cilindros concéntricos

Aparato de factor de compactación. - Fue empleado para realizar el ensayo de factor de compactación.



Figura 41: Aparato de factor de compactación



3.5 Procedimientos de recolección de datos

3.5.1 Muestreo del agregado grueso de la cantera Vicho (NTP 400.012)

3.5.1.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba.

- a) Regla de madera para el cuarteo de 50 cm.
- b) Espátula.
- c) Pala.
- d) Balanza de precisión de ± 15 kg.
- e) Saco y bolsa para la muestra.
- f) Agregado grueso de la cantera Vicho para el cuarteo de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ " 50kg.

3.5.1.2 Procedimiento

- 1) Se utilizó una muestra representativa de 50 kg del agregado grueso.
- 2) Se formó un montículo con el agregado grueso, para ello nos ayudamos con la pala dándole la forma de una circunferencia mezclando siete veces como mínimo con la finalidad de uniformizar el agregado.
- 3) Con la regla de madera se procedió a dividir el agregado en forma triangular y en 4 partes semejantes.



Figura 42: Cuarteo manual del agregado grueso de Vicho

- 4) Una vez que se obtuvo la división se procedió a escoger 2 partes semejantes diagonalmente opuestas.
- 5) Con las partes elegidas se volvió hacer el mismo procedimiento con la finalidad de seguir uniformizando el agregado, por lo que se procedió a repetirlo por 4 veces más posteriormente.
- 6) Finalmente seleccionamos la muestra, así como tomamos el peso en la balanza y posteriormente lo guardamos en una bolsa para su respectivo uso.



7) Este procedimiento también tiene como denominación “cuarteo”.

3.5.1.3 Toma de datos

Tabla 33: Peso obtenido del cuarteo del agregado grueso de la cantera Vicho

PESO DE LA MUESTRA DEL AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA DE VICHO	5 kg
--	-------------

3.5.2 Análisis granulométrico del agregado grueso de la cantera Vicho (NTP 400.012)

3.5.2.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba

- a) Tamizadora eléctrica.
- b) Recipientes metálicos.
- c) Cucharón metálico.
- d) Serie de tamices: 1", ¾", ½", 3/8", ¼", #4 y fondo.
- g) Balanza de precisión de ± 15 kg.
- e) Agregado grueso de la cantera Vicho 2000 gr.

3.5.2.2 Procedimiento

- 1) La muestra que se utilizó para el ensayo fue lavada con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas en el siguiente cuadro se presentan los contenidos máximos según la norma técnica peruana.

Tabla 34: Límites de aceptación para el agregado grueso

Contenido de sustancias perjudiciales para el Agregado Grueso	Límites de aceptación
Terrones de Arcilla y partículas deleznales	0.25% máx.
Contenido de Carbón y lignito	0.5% máx.
Cantidad de Partículas Livianas	1.0% máx.
Contenido de sulfatos, expresados como ión SO ₄ ⁼	0.06% máx.
Contenido de Cloruros, expresado como ión Cl ⁻	0.10% máx.

Fuente. NTP 400.015



- 1) Una vez realizado el cuarteo se tomó la muestra representativa de agregado grueso y obtuvimos un peso inicial de: 2000 gr.
- 2) Posteriormente vertimos el agregado con ayuda de un cucharón en la serie de tamices en orden decreciente por tamaño de abertura.



Figura 43: Proceso de tamizado con ayuda de un tamizador eléctrico

- 3) Se comenzó con el tamizado con ayuda de un agitador mecánico de tamices que nos facilitó el procedimiento de tal forma que no pasó más del 1% de la cantidad en peso retenida en cada tamiz durante 1 minuto, teniendo en cuenta que por ningún motivo inducimos la mano para lograr el paso de una partícula a través del tamiz.



Figura 44: Tamizador eléctrico

- 4) Una vez tamizado se usó un cepillo metálico y una brocha para realizar la limpieza de cada tamiz.
- 5) Finalmente se registró el peso de la muestra retenido en cada tamiz.



Figura 45: Proceso de obtención de cada peso retenido por tamiz

3.5.2.3 Toma de datos

Tabla 35: Recolección de pesos retenidos del agregado grueso de la cantera Vicho

PESO TOTAL:		2000.00 gr
TAMIZ	DIAMETRO	PESO RETENIDO
N°	(mm)	(gr)
2"	9.38	0.00
1 1/2"	6.35	0.00
1"	4.75	0.00
3/4"	2.36	84.50
1/2"	1.18	522.50
3/8"	9.38	390.00
1/4"	6.35	325.70
N°4	4.75	103.50
N°8	2.36	56.40
N°16	1.18	14.80
N°30	0.60	0.80
N°50	0.30	0.50
N°100	0.15	0.50
N°200	0.08	1.10
SUMA:		1500.30

3.5.3 Contenido de humedad del agregado grueso de la cantera Vicho (NTP 339.185)

3.5.3.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba

- Balanza de precisión de ± 15 kg.
- Horno capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Recipiente para la muestra.
- Cucharón.
- Agregado grueso de la cantera Vicho 2500gr.

3.5.3.2 Procedimiento

- 1) Se determinó la masa de la muestra con una precisión del 0.1% con una muestra de 2500 gr.
- 2) La muestra que se utilizó para el ensayo fue lavada con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas en el siguiente cuadro se presentan los contenidos máximos según la norma técnica peruana que se especificó en la tabla N°34.
- 3) Se vertió la muestra en un recipiente y posteriormente se colocó dentro del horno durante 24h a una temperatura constante de 110 ± 5 °C, con el cuidado respectivo de evitar la pérdida de ninguna partícula.



Figura 46: Ingreso del agregado grueso de Vicho al horno eléctrico

- 4) Una vez retirado del horno se procedió al secado y enfriado de la muestra para evitar el daño de la balanza utilizada, obteniendo la masa de muestra seca con una aproximación de 0.1%.

3.5.3.3 Toma de datos

Tabla 36: Recolección de datos para el contenido de humedad del agregado grueso Vicho

RECOLECCION DE DATOS:				
DATOS:	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	UND
PESO DE CAPSULA	29.00	26.79	24.16	gr
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	119.00	113.11	118.13	gr
PESO CAPS + MATERIAL SECO	117.25	111.43	116.36	gr
PESO DEL AGUA	1.75	1.68	1.77	gr
PESO DEL MATERIAL SECO	88.25	84.64	92.20	gr



3.5.4 **Peso específico y absorción del agregado grueso de la cantera Vicho (NTP 400.021)**

3.5.4.1 **Equipos y materiales utilizados en la prueba**

- a) Balanza, con capacidad ± 5000 gr.
- b) Canastilla o cesta metálica.
- c) Tamices normalizados.
- d) Horno, capaz de mantener una temperatura $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- e) Agregado grueso de la cantera Vicho 3000gr.

3.5.4.2 **Procedimiento**

- 2) El peso mínimo para el ensayo es de 3000 gr.

Tabla 37: Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo para absorción

Tamaño máximo nominal		Cantidad mínima de muestra
mm	(pulg)	Kg
Hasta 12,5	½	2
19,0	¾	3
25,0	1	4
37,5	1 ½	5
50,0	2	8
63,0	2 ½	12
75,0	3	18
90,0	3 ½	25

Fuente: MTC E 206

- 3) Posteriormente se lavó mediante lo y secó a una temperatura de 110°C . Una vez fría la muestra tomamos el peso y lo sumergimos en agua durante 24 horas.
- 4) Una vez realizado el período de inmersión se retiró la muestra del agua para posteriormente secar las partículas rodándolas sobre una franela hasta eliminar el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores.
- 5) Se determinó el peso de la muestra en el estado saturado con superficie seca.



- 6) Se introdujo la muestra al interior de la canastilla metálica para sumergirla en el agua y determinar el peso, teniendo en cuenta deberán quedar completamente sumergidas durante la toma del peso.
- 7) Para el secado se introdujo la muestra al horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, una vez retirado se dejó enfriar a temperatura ambiente de 1 a 3 horas.

3.5.4.3 Toma de datos

Tabla 38: Recolección de datos para análisis del peso específico y absorción del agregado grueso de Vicho

RECOLECCION DE DATOS:			
DATOS:	DESCRIPCION	CANTIDAD	UND
A	Peso de la muestra	844.10	gr
B	Peso del picnómetro lleno con agua	854.01	gr
C	Peso del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración	523.20	gr

3.5.5 Peso unitario del agregado grueso de la cantera Vicho (NTP 400.017)

3.5.5.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba

- a) Balanza, con capacidad $\pm 5000\text{gr}$.
- b) Varilla compactadora, de acero, cilíndrica de 16 mm ($5/8''$) de diámetro, con una longitud aproximada de 600 mm ($24''$).
- c) Recipiente de medida.
- d) Pala de mano.
- e) Horno, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- f) Agregado grueso de la cantera Vicho 5000gr.

3.5.5.2 Procedimiento

- 1) La muestra de ensayo según la norma líneas arriba es aproximadamente 125% y 200% de la cantidad requerida para llenar la medida y será manipulada evitando su segregación. Considerando este alcance se llevó a cabo el ensayo de peso unitario del agregado.



- 2) Se colocó tres capas del agregado en el recipiente y de igual volumen hasta colmarlo.
- 3) Se llenó cada tercera parte del recipiente de medida y se niveló cada superficie con la mano, posteriormente se apisonó cada capa de agregado con la barra compactadora mediante 25 golpes distribuidos uniformemente.
- 4) Al compactar la primera capa se procuró que la barra no golpee el fondo del recipiente; así mismo al compactar las dos últimas, se empleó la fuerza necesaria para que la varilla solamente penetre la última capa de agregado colocado en el recipiente.
- 5) Finalmente, el agregado sobrante se eliminó utilizando la barra compactadora como regla, con el propósito de enrasar la superficie, asimismo se determinó el peso del recipiente lleno en kg.

3.5.5.3 Toma de datos

Tabla 39: Recolección de datos para análisis del peso específico y absorción del agregado grueso de Vicho

Peso suelto del Agregado Grueso

RECOLECCION DE DATOS:			
DATOS:	DESCRIPCION	CANTIDAD	UND
P1	Peso del material más el molde 1	8998.00	gr
P2	Peso del material más el molde 2	9004.00	gr
P3	Peso del material más el molde 3	8997.00	gr

Peso Compactado del Agregado Grueso

RECOLECCION DE DATOS:			
DATOS:	DESCRIPCION	CANTIDAD	UND
P1	Peso del material más el molde 1	9569.00	gr
P2	Peso del material más el molde 2	9575.00	gr
P3	Peso del material más el molde 3	9572.60	gr



3.5.6 Resistencia a la abrasión del agregado grueso de la cantera Vicho (NTP 400.019 y ASTM C-131)

3.5.6.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba

- a) Tamices 1, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$ y malla N°12.
- b) Máquina de desgaste de los Ángeles.
- c) Esfera de acero, de 48 mm, de diámetro y un peso variable entre 390g y 445g, el número de las esferas depende de la gradación.
- d) Horno capaz de mantener la temperatura a 110°C.
- e) Balanza sensible al 0.1% del peso de la muestra a ensayar.
- f) Bandejas.
- g) Cucharón metálico.
- h) Agregado grueso de la cantera Vicho 5000gr.

3.5.6.2 Procedimiento

- 1) Previamente al ensayo el agregado grueso fue tamizado en las mallas 1, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{8}$ con la finalidad de observar el material que pasa y el que es retenido en cada malla para determinar el método a usar según la tabla 39 y así obtener los pesos requeridos para el ensayo.

Tamaño Maximo Nominal= **3/4pulg**

Tabla 40: Determinación del método a usar para el ensayo de abrasión.

METODO		A	B	C	D
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A USAR (gr)			
QUE PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250			
1"	3/4"	1250			
3/4"	1/2"	1250	2500		
1/2"	3/8"	1250	2500		
3/8"	1/4"			2500	
1/4"	N°4			2500	
N°4	N°8				5000
PESO TOTAL		5000	5000	5000	5000
N° de esferas		12	11	8	6
N° de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación (min)		15	15	15	15

- 2) Una vez que se determinó el método B utilizado en el ensayo, se procedió a lavar el agregado grueso requerido y concluimos llevándolo al horno para proceder al secado a 110°C siendo realizado todo esto con 24 horas antes del ensayo.



Figura 47: Lavado y puesta en horno del agregado grueso de Vicho

- 3) Se procedió a tamizar el agregado ya seco retirado del horno, esto se realizó en los tamices 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ " y N°12 y los pesos obtenidos en cada malla fueron:

METODO B	
Mallas	Pesos (gr)
$\frac{3}{4}$ "	2500.1
$\frac{1}{2}$ "	2500.2

- 4) Al terminar de pesar, se procedió a juntar todo el agregado obtenido en cada tamiz y se llevó a la máquina de los Ángeles.
- 5) Vertimos en la máquina de los Ángeles el material con las billas de 48mm, procedimos a configurar el número de revoluciones, asegurando la puerta del equipo, por el tiempo 15 minutos, con la finalidad de triturar al agregado grueso y tomando las precauciones respectivas al mantener una distancia del lugar debido al ruido a causa de las billas.



Figura 48: Proceso de preparación de la máquina de los Ángeles previo al ensayo

- 6) Una vez terminado los 15 minutos se retiró el material de la máquina y observamos que el agregado grueso estaba triturado con presencia de mucho polvillo, es por ello que tamizamos nuevamente en el tamiz N°12.
- 7) Finalmente registramos el peso retenido en el tamiz N°12 ya que este valor fue el que se utilizó en el análisis de datos.



Figura 49: Tamizado y registro del peso del agregado grueso molido en la máquina de los Ángeles.

3.5.6.3 Toma de datos

Tabla 41: Recolección de datos para el análisis de resistencia a la abrasión del agregado grueso de Vicho

ESPECIFICACIONES		TAMAÑO MAXIMO		METODO B	
Graduacion	Nº esferas	PASA	RETENIDO	Mallas	Pesos (gr)
A	12	1 1/2"	1"	Mallas	Pesos (gr)
B	11	3/4"	1/2"	¾"	2500.10
C	8	3/8"	1/4"	½"	2500.20
D	6	Nº4	Nº8		
Total de rev.		500 rev.			
Velocidad:		30 rev/min			

RECOLECCION DE DATOS:			
DATOS:	DESCRIPCION	CANTIDAD	UND
Pi	Peso inicial de la muestra	5000.30	gr
Pf	Peso final de la muestra despues de pasada la malla N° 12	4245.00	gr



3.5.7 Muestreo del agregado fino de la cantera Cunyac y Huambutio (NTP 400.012)

3.5.7.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba

- a) Palas y cucharones.
- b) Escobas y cepillos.
- c) Espátulas.
- d) Regla enrasadora.
- e) Balanza, con capacidad igual o superior a 15 kg
- f) Recipientes (baldes).
- g) Agregado fino de la cantera Cunyac, 25 kg.
- h) Agregado fino de la cantera Huambutio, 25 kg.

3.5.7.2 Procedimiento

- 1) Se colocó la muestra traída del campo sobre una superficie dura, limpia y nivelada, donde no se pierda, ni se le adicione material.
- 2) Se mezcló el material completamente, volteándolo con pala unas tres veces.
- 3) Se conformó una pila cónica mediante el uso de una pala.



Figura 50: Mezcla uniforme del agregado fino de la cantera de Cunyac y Huambutio

- 4) El diámetro de la pila aplanada, fue de aproximadamente entre 6 u 8 veces el espesor de la capa material.
- 5) Se dividió la muestra aplanada en cuatro partes iguales utilizando la regla y se retiró dos partes diagonalmente opuestas incluyendo el material más fino, usando una escoba y cepillo.



Figura 51: Cuarteo del agregado fino de la cantera de Cunyac y Huambutio

- 6) El material que quedó, se volvió a mezclar alternativamente cada una de las dos cuartas partes que quedaron. Se repitió el proceso de cuarteo hasta que la muestra quedo reducida al tamaño deseado.
- 7) La muestra final se pesó y se guardó en recipientes etiquetados con los datos del material.

3.5.7.3 Toma de datos

Tabla 42: Peso obtenido del cuarteo del agregado fino de Cunyac y Huambutio

PESO DE LA MUESTRA DEL AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA DE CUNYAC	3 kg
PESO DE LA MUESTRA DEL AGREGADO FINO DE LA CANTERA DE HUAMBTIO	3 kg

3.5.8 Análisis granulométrico del agregado fino de la cantera Cunyac y Huambutio (NTP 400.012)

3.5.8.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba

- a) Bandeja metálica.
- b) Cucharón.
- c) Espátula.
- d) Brocha.
- e) Cepillo metálico.
- f) Balanza de precisión ± 15 kg.



- g) Serie de tamices N°4, 8, 16, 30, 50, 100 y fondo.
- h) Agregado fino de la cantera Cunyac, 2000 gr.
- i) Agregado fino de la cantera Huambutio, 2000 gr.

3.5.8.2 Procedimiento

- 1) Luego se realizó el cuarteo y la toma de muestras representativas de agregado fino, obtuvimos un peso inicial de las canteras de Cunyac y Huambutio.
- 2) La muestra que se utilizó para el ensayo fue lavada con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas en el siguiente cuadro se presentan los contenidos máximos de acuerdo a la norma técnica peruana.

Tabla 43: Límites de aceptación para el agregado fino

Contenido de sustancias perjudiciales para el Agregado Fino	Límites de aceptación
Terrones de Arcilla y partículas deleznable	1.00% máx.
Cantidad de Partículas Livianas	0.50% máx.
Contenido de sulfatos, expresados como ión $SO_4 =$	0.06% máx.
Contenido de Cloruros, expresado como ión Cl^-	0.10% máx.

Fuente. NTP 400.015

- 3) Una vez se obtuvo el peso se vertió el agregado fino de la cantera Cunyac, con ayuda de un cucharón en la serie de tamices en orden decreciente por tamaño de abertura, iniciando en la malla N°4.



Figura 52: Proceso de tamizado de los agregados fino de la cantera de Cunyac y Huambutio



- 4) Se inició con el tamizado con ayuda de un agitador mecánico de tamices que hizo más fácil el proceso que hacerlo manualmente de manera que después de finalizado el proceso, no paso más del 1% de la cantidad en peso retenida en cada tamiz, durante un minuto. Se deja claro que en ningún momento durante el procedimiento se introdujo la mano para lograr el paso de una partícula a través del tamiz.
- 5) Se determinó el peso de la muestra retenido en cada tamiz para el agregado fino de Cunyac.



Figura 53: Registro de pesos retenido por cada tamiz del agregado fino de Cunyac

- 6) Se vertió el agregado fino de la cantera de Huambutio y se repite el proceso ya mencionado anteriormente del tamizado.



Figura 54: Proceso de tamizado y registro de pesos de material retenido en cada tamiz del agregado fino de la cantera Huambutio

- 7) Después de haber tamizado se usó un cepillo metálico para ayudar a limpiar cada tamiz.
- 8) Finalmente se determinó el peso de la muestra retenido en cada tamiz para el agregado de la cantera Huambutio.



Figura 55: Muestras del peso retenido por tamiz

3.5.8.3 Toma de datos

Tabla 44: Datos del análisis granulométrico del agregado fino Cunyac

PESO TOTAL:	497.50 gr
--------------------	-----------

TAMIZ	DIAMETRO	PESO RETENIDO
N°	(mm)	(gr)
3/8"	9.38	0.00
1/4"	6.35	0.00
N°4	4.75	0.60
N°8	2.36	1.60
N°16	1.18	11.50
N°30	0.60	148.00
N°50	0.30	225.20
N°100	0.15	91.60
N°200	0.08	19.00
	SUMA:	497.50

Tabla 45: Datos del análisis granulométrico del agregado fino Huambutío

PESO TOTAL:	683.70 gr
--------------------	-----------

TAMIZ	DIAMETRO	PESO RETENIDO
N°	(mm)	(gr)
3/8"	9.38	0.00
1/4"	6.35	0.00
N°4	4.75	63.20
N°8	2.36	164.50
N°16	1.18	156.00
N°30	0.60	143.60
N°50	0.30	93.20
N°100	0.15	39.30
N°200	0.08	23.90
	SUMA:	683.70



3.5.9 Porcentaje de humedad del agregado fino de la cantera Cunyac y Huambutio (NTP 339.185)

3.5.9.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba

- a) Balanza, con sensibilidad de 0.1% del peso
- b) Horno, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- c) Taras y recipientes para la muestra.
- d) Agregado fino de la cantera Cunyac, 300 gr.
- e) Agregado fino de la cantera Huambutio, 300 gr.

3.5.9.2 Procedimiento

- 1) Se seleccionó una muestra representativa del agregado fino de 300 gr
- 2) Se determinó el peso de la muestra en estado natural.



Figura 56: Registro del peso de la muestra en estado natural del agregado fino de la cantera de Cunyac y Huambutio

- 3) Se secó la muestra en un recipiente por medio del horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, evitando la pérdida de muestra.



Figura 57: Secado de la muestra en el horno del agregado de la cantera de Cunyac y Huambutio

- 4) La muestra estuvo suficientemente seca, cuando la aplicación de calor adicional causo menos de 0,1% de pérdida adicional de la masa.



Figura 58: Muestra totalmente seca del agregado fino

- 5) Se determinó la masa de la muestra seca, después que se haya secado y enfriado lo suficiente para no dañar la balanza.

3.5.9.3 Toma de datos

Tabla 46: Toma de datos para el análisis de resultados del porcentaje de humedad del agregado fino de Cunyac y Huambutio

RECOLECCION DE DATOS:				
DATOS:	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	UND
PESO DE CAPSULA	29.85	28.05	24.79	gr
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	113.70	127.57	114.19	gr
PESO CAPS + MATERIAL SECO	110.45	123.72	110.71	gr
PESO DEL AGUA	3.25	3.85	3.48	gr
PESO DEL MATERIAL SECO	80.60	95.67	85.92	gr



3.5.10 Peso específico seco y porcentaje de absorción del agregado fino de la cantera Cunyac y Huambutio (ASTM C128)

3.5.10.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba

- a) Balanza, con sensibilidad de 0.1% del peso.
- b) Horno, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- c) Picnómetro de 500 cm³ (para uso con procedimiento gravimétrico).
- d) Molde y apisonador para el ensayo de humedad superficial.
- e) Agregado fino de la cantera Cunyac, 500 gr.
- f) Agregado fino de la cantera Huambutio, 500 gr.

3.5.10.2 Procedimiento

- 1) La muestra que se utilizó para el ensayo fue lavada con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas en el siguiente cuadro se presentan los contenidos máximos según la norma técnica peruana que se especificó en la tabla N°43.
- 2) Se secó la muestra en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. hasta que el peso sea constante. Posteriormente enfriamos la muestra a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas.
- 3) Se cubrió la muestra con agua durante 24 horas, para posteriormente decantar cuidadosamente el agua evitando pérdidas de partículas finas.
- 4) Se espació la muestra sobre una superficie plana no absorbente, y se aplicó una corriente de aire caliente hasta que este maso menos fluida.
- 5) Una vez en el estado húmedo se colocó la muestra en el molde cónico hasta llenarlo luego compactar el material con 25 golpes suaves, al desmoldar no debe ocurrir desmoronamiento, seguidamente seguir secando la muestra y volver a realizar la prueba del molde, esta segunda vez se debe alcanzar un desmoronamiento.
- 6) Se llenó el picnómetro hasta la marca indicada y pesar la mezcla
- 7) Seguidamente introducimos 500 gr de la muestra en el picnómetro y se llenó con agua.
- 8) Se agitó el picnómetro y con ayuda de la bomba de vacío se eliminó las burbujas de aire.
- 9) Seguidamente se llenó el picnómetro hasta la marca de calibración.
- 10) Finalmente se determinó la masa total del picnómetro, espécimen y agua.



3.5.10.3 Toma de datos

Tabla 47: Recolección de datos para análisis de datos del peso específico y absorción del agregado fino de Cunyac y Huambutio

RECOLECCION DE DATOS:			
DATOS:	DESCRIPCION	CANTIDAD	UND
A	Peso en el aire de la muestra secada en el horno	116.00	gr
B	Peso del picnometro lleno con agua	718.40	gr
C	Peso del picnometro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración	793.34	gr
S	Peso de la muestra saturada y superficialmente seca	120.00	gr

3.5.11 Peso unitario del agregado fino de la cantera Cunyac y Huambutio (NTP 400.017)

3.5.11.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba

- a) Balanza ± 3 kg.
- b) Wincha.
- c) Vernier.
- d) Varilla compactadora, de acero, cilíndrica de 16 mm (5/8") de diámetro, con una longitud aproximada de 600 mm (24").
- e) Recipiente de medida, metálico, cilíndrico, preferiblemente con asas, aprueba de agua.
- f) Pala de mano.
- g) Horno, capaz de mantener una temperatura constante uniforme de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- h) Agregado fino de la cantera Cunyac, 5000 gr
- i) Agregado fino de la cantera Huambutio, 5000 gr.

3.5.11.2 Procedimiento

- 1) Se secó la muestra en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, hasta obtener un peso constante.
- 2) Se tomó las medidas del cilindro metálico, diámetros, altura y su peso.



- 3) Se llenó cada tercera parte del recipiente de medida y se niveló cada superficie, posteriormente se apisonó cada capa de agregado con la barra compactadora mediante 25 golpes distribuidos uniformemente.
- 4) Se llenó cada tercera parte del recipiente de medida y se niveló cada superficie, posteriormente se apisonó cada capa de agregado con la barra compactadora mediante 25 golpes distribuidos uniformemente.
- 5) Al compactar la primera capa se procuró que la barra no golpee el fondo del recipiente; así mismo al compactar las dos últimas, se empleó la fuerza necesaria para que la varilla solamente penetre la última capa de agregado colocado en el recipiente.
- 6) Finalmente se repitió el procedimiento tres veces, se determinó los pesos de cada ensayo y el peso del cilindro vacío.

3.5.11.3 Toma de datos

Tabla 48: Recolección de datos para el análisis del peso específico y absorción del agregado fino de Cunyac y Huambutio

Peso suelto del Agregado Fino

RECOLECCION DE DATOS:			
DATOS:	DESCRIPCION	CANTIDAD	UND
P1	Peso del material más el molde 1	8755.00	gr
P2	Peso del material más el molde 2	8758.00	gr
P3	Peso del material más el molde 3	8751.00	gr

Peso Compactado del Agregado Fino

RECOLECCION DE DATOS:			
DATOS:	DESCRIPCION	CANTIDAD	UND
P1	Peso del material más el molde 1	9078.20	gr
P2	Peso del material más el molde 2	9082.00	gr
P3	Peso del material más el molde 3	9079.00	gr



3.5.12 Ensayo de segregación del concreto (NTP 339.218)

3.5.12.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba

- a) Balanza de capacidad ± 15 kg.
- b) Mezcladora de 9 p³.
- c) Molde tipo columna.
- d) Placa colectora.
- e) Barra de enrazado.
- f) Tamiz N°4.
- g) Recipiente de vertido.
- h) Sistema de fijación.
- i) Bandejas.
- j) Cucharón metálico.
- k) Concreto, de acuerdo al diseño para 8 kg de cemento.
- l) Aditivo al 0.6%, 0.8%, 1% y 1.5%.

3.5.12.2 Procedimiento

- 1) Se realizó el ensayo en una superficie de trabajo plana sin exponer la superficie de trabajo a vibraciones o perturbaciones de movimientos.
- 2) Se humedeció el interior del molde, eliminando el agua estancada en la placa base dentro de la columna y se aseguró la estructura del molde tipo columna mediante el sistema de fijación (abrazaderas).

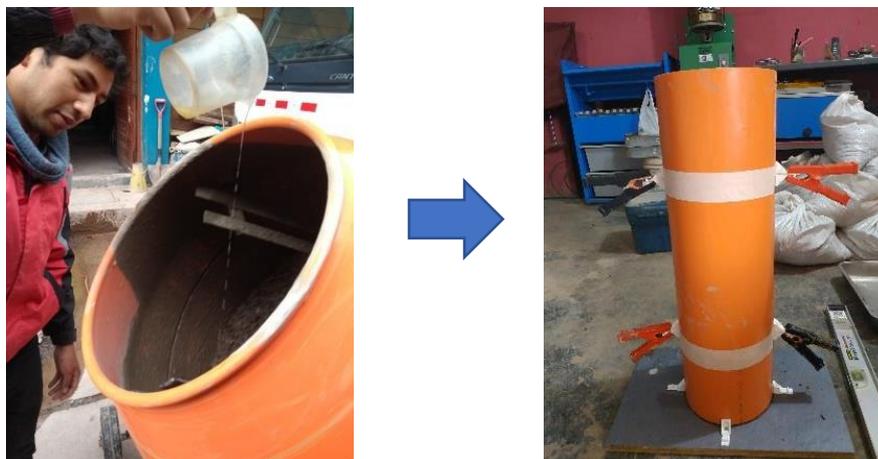


Figura 59: Preparación de la mezcla y armado del molde tipo columna



- Una vez que se obtuvo la mezcla procedimos a llenar el recipiente vertiendo mediante el uso de una pala, inmediatamente después llenamos el molde tipo columna, dentro de un lapso de 2 min se colocó el punto más bajo del recipiente vertiendo en no más de 5 pulg por encima de la parte superior del molde asegurando una distribución uniforme del concreto, no se apisonó ni golpeó los laterales del molde.



Figura 60: Llenado del molde tipo columna

- Una vez que se llenó el molde, enrasamos la superficie con la barra enrasadora a través del borde superior del molde con un movimiento de sierra, hasta que la superficie del concreto sea nivelada.
- Se esperó que el concreto repose por un lapso de 15 min.

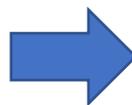


Figura 61: Enrasado y periodo de reposo de la mezcla de concreto en el molde tipo columna

- Seguidamente después del periodo de reposo, se mantuvo firmemente la sección superior del molde, luego se retiró el sistema de fijación y se colocó la sección cortada de la placa recolectora alrededor de la columna justo por debajo de la junta entre la sección superior y media para recolectar y obtener el concreto.



- 7) Se sujetó la sección superior del molde y utilizando un movimiento rotatorio horizontal se retiró la sección superior del molde en la placa recolectora y luego depositarlo en una bandeja.
- 8) Repetimos el procedimiento del paso 6 y 7 pero con la excepción que en este caso la sección intermedia del molde y se depositó la sección inferior en una bandeja y la parte intermedia se desechó.



Figura 62: Recolección de la mezcla de concreto del molde tipo columna tanto de la parte superior e inferior

- 9) Seguidamente procedimos a lavar el concreto en el tamiz N°4, así como la sección superior y la inferior del molde con el propósito de que solo el agregado grueso permanezca en el tamiz para posteriormente depositarlo en otra bandeja.



Figura 63: Proceso del lavado del concreto de la parte inferior y superior

- 10) Se trasladó el agregado grueso obtenido de las sección superior e inferior del molde a una superficie seca enrollándolo en un paño absorbente hasta que se eliminan todas las películas visibles de agua.



Figura 64: Proceso del secado del concreto utilizando de un paño absorbente

11) Finalmente se registró el peso del agregado grueso de la sección superior e inferior del molde.



Figura 65: Registro del peso inferior y superior seco

3.5.12.3 Toma de datos

Tabla 49: Hoja de recolección de datos para el ensayo de segregación del concreto patrón

$f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

ENSAYO DE SEGREGACION PARA EL CONCRETO F'C=210KG/CM ²		
PESO RETENIDOS:	PESO RETENIDO SUPERIOR (kg)	PESO RETENIDO INFERIOR (kg)
Muestra N°01	4.98	5.31
Muestra N°02	4.85	5.10
Muestra N°03	4.75	5.03
Muestra N°04	4.85	5.12
Muestra N°05	4.95	5.20
Muestra N°06	4.91	5.18
Muestra N°07	4.97	5.25
Muestra N°08	4.91	5.20
Muestra N°09	5.02	5.30
Muestra N°10	4.93	5.20



Tabla 50: Hoja de recolección de datos para el ensayo de segregación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.6% y 0.8%

ENSAYO DE SEGREGACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6%			ENSAYO DE SEGREGACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8%		
PESO RETENIDOS:	PESO RETENIDO SUPERIOR (kg)	PESO RETENIDO INFERIOR (kg)	PESO RETENIDOS:	PESO RETENIDO SUPERIOR (kg)	PESO RETENIDO INFERIOR (kg)
Muestra N°01	5.03	5.32	Muestra N°01	4.85	5.45
Muestra N°02	5.10	5.26	Muestra N°02	4.86	5.30
Muestra N°03	5.06	5.31	Muestra N°03	4.82	5.50
Muestra N°04	5.15	5.40	Muestra N°04	4.75	5.20
Muestra N°05	5.27	5.38	Muestra N°05	4.77	5.40
Muestra N°06	5.14	5.30	Muestra N°06	4.92	5.10
Muestra N°07	5.15	5.36	Muestra N°07	4.78	5.20
Muestra N°08	5.10	5.28	Muestra N°08	4.69	5.40
Muestra N°09	5.14	5.32	Muestra N°09	4.75	5.90
Muestra N°10	5.12	5.37	Muestra N°10	4.78	5.30

Tabla 51: Hoja de recolección de datos para el ensayo de segregación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1% y 1.5%

ENSAYO DE SEGREGACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1%		
PESO RETENIDOS:	PESO RETENIDO SUPERIOR (kg)	PESO RETENIDO INFERIOR (kg)
Muestra N°01	4.23	5.25
Muestra N°02	4.55	5.60
Muestra N°03	4.18	5.30
Muestra N°04	4.30	5.40
Muestra N°05	4.26	5.25
Muestra N°06	4.27	5.30
Muestra N°07	4.15	5.20
Muestra N°08	4.22	5.40
Muestra N°09	4.33	5.15
Muestra N°10	4.50	5.50

ENSAYO DE SEGREGACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5%		
PESO RETENIDOS:	PESO RETENIDO SUPERIOR (kg)	PESO RETENIDO INFERIOR (kg)
Muestra N°01	3.90	6.70
Muestra N°02	3.60	6.40
Muestra N°03	3.70	6.50
Muestra N°04	3.60	6.21
Muestra N°05	3.70	6.55
Muestra N°06	3.80	6.15
Muestra N°07	3.70	6.23
Muestra N°08	3.30	6.26
Muestra N°09	3.40	6.23
Muestra N°10	3.60	6.32



3.5.13 Ensayo de exudación del concreto (NTP 339.077)

3.5.13.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba

- a) Recipiente cilíndrico.
- b) Mezcladora de 9 p³.
- c) Balanza de capacidad ± 50 kg.
- d) Pipeta o Jeringa.
- e) Probeta de vidrio de 100 ml.
- f) Varilla apisonadora.
- g) Wincha.
- h) Concreto, de acuerdo al diseño para 6 kg de cemento.
- i) Aditivo al 0.6%, 0.8%, 1% y 1.5%.

3.5.13.2 Procedimiento

- 1) Durante el ensayo, se mantuvo la temperatura ambiente entre 18°C y 24°C.
- 2) Inmediatamente después nivelamos la superficie de la muestra para luego marcar una altura interior de 254 mm en el recipiente cilíndrico, con la ayuda de la cinta métrica.



Figura 66: Registrado de la altura límite del recipiente de exudación



- 3) Se vertió la mezcla de concreto hacia el recipiente cilíndrico, colocándolo en tres capas de aproximadamente igual volumen, posteriormente se golpeó con la varilla apisonadora 25 veces en cada capa.

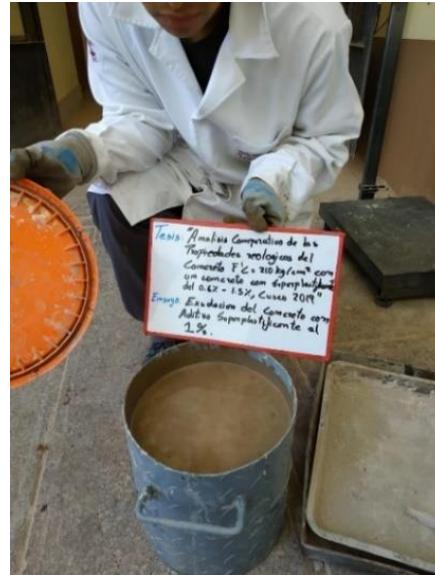


Figura 67: Proceso de vertido y apisonado de la mezcla de concreto

- 4) Se registró el peso la masa del recipiente y su contenido.



Figura 68: Registro del peso del recipiente lleno con la mezcla de concreto

- 5) Se colocó el recipiente sobre una plataforma nivelada en un piso libre de vibración perceptible, se cubrió el recipiente durante el ensayo con el objetivo de prevenir la evaporación del agua exudada.



Figura 69: Colocación y almacenamiento del recipiente de exudación

- 6) El agua que se acumuló en la superficie se extrajo con una jeringa a intervalos de 10 min durante los primeros 40 min y luego a intervalos de 30 min hasta que se termine la exudación anotando el tiempo de la última observación.



Figura 70: Extracción del agua exudada en cada intervalo de tiempo

- 7) Para facilitar la recolección del agua exudada se procedió a inclinar el espécimen cuidadosamente, colocando una pieza de 2 pulg de espesor bajo uno de los lados del recipiente, unos dos minutos antes de la extracción de agua y luego después de que se ha extraído el agua, se regresa el recipiente a su posición original sin agitarlo.



Figura 71: Inclinación del recipiente antes de la extracción del agua



- 8) En cada extracción se transfirió el agua a una probeta graduada de 100ml y se registró la cantidad de agua acumulada después de cada transferencia.



Figura 72: Registro de la cantidad de agua exudada

3.5.13.3 Toma de datos

Tabla 52: Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón muestra 1 - 2

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO F'C=210KG/CM ² - MUESTRA 1					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.80	0.80	0.08	530.93
10	20	5.70	6.50	0.57	530.93
10	30	8.60	15.10	0.86	530.93
10	40	12.11	27.21	1.21	530.93
30	70	26.93	54.14	0.90	530.93
30	100	14.80	68.94	0.49	530.93
30	130	9.70	78.64	0.32	530.93
30	160	4.10	82.74	0.14	530.93
30	190	1.50	84.24	0.05	530.93
30	220	0.00	84.24	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	84.24 ml
WT	36.82 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO F'C=210KG/CM ² - MUESTRA 2					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.50	0.50	0.05	530.93
10	20	2.60	3.10	0.26	530.93
10	30	14.32	17.42	1.43	530.93
10	40	20.21	37.63	2.02	530.93
30	70	26.72	64.35	0.89	530.93
30	100	13.10	77.45	0.44	530.93
30	130	6.20	83.65	0.21	530.93
30	160	2.60	86.25	0.09	530.93
30	190	0.10	86.35	0.00	530.93
30	220	0.00	86.35	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	86.35 ml
WT	36.82 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



Tabla 53: Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón
muestra 3 - 6

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO F'C=210KG/CM ² - MUESTRA 3					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.60	0.60	0.06	530.93
10	20	4.20	4.80	0.42	530.93
10	30	10.35	15.15	1.04	530.93
10	40	16.53	31.68	1.65	530.93
30	70	24.15	55.83	0.81	530.93
30	100	19.30	75.13	0.64	530.93
30	130	9.50	84.63	0.32	530.93
30	160	3.30	87.93	0.11	530.93
30	190	0.85	88.78	0.03	530.93
30	220	0.00	88.78	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	88.78 ml
WT	36.82 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO F'C=210KG/CM ² - MUESTRA 4					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.70	0.70	0.07	530.93
10	20	3.50	4.20	0.35	530.93
10	30	9.80	14.00	0.98	530.93
10	40	16.25	30.25	1.63	530.93
30	70	23.70	53.95	0.79	530.93
30	100	18.20	72.15	0.61	530.93
30	130	8.55	80.70	0.29	530.93
30	160	2.86	83.56	0.10	530.93
30	190	0.60	84.16	0.02	530.93
30	220	0.00	84.16	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	84.16 ml
WT	36.82 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO F'C=210KG/CM ² - MUESTRA 5					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.30	0.30	0.03	530.93
10	20	3.10	3.40	0.31	530.93
10	30	8.90	12.30	0.89	530.93
10	40	17.35	29.65	1.74	530.93
30	70	24.45	54.10	0.82	530.93
30	100	18.30	72.40	0.61	530.93
30	130	10.15	82.55	0.34	530.93
30	160	5.20	87.75	0.17	530.93
30	190	1.04	88.79	0.03	530.93
30	220	0.00	88.79	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	88.79 ml
WT	36.82 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO F'C=210KG/CM ² - MUESTRA 6					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	1.05	1.05	0.11	530.93
10	20	4.95	6.00	0.50	530.93
10	30	11.30	17.30	1.13	530.93
10	40	16.20	33.50	1.62	530.93
30	70	23.15	56.65	0.77	530.93
30	100	14.24	70.89	0.47	530.93
30	130	8.85	79.74	0.30	530.93
30	160	3.22	82.96	0.11	530.93
30	190	0.95	83.91	0.03	530.93
30	220	0.00	83.91	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	83.91 ml
WT	36.82 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg





Tabla 54: Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón
muestra 7 - 10

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO F'C=210KG/CM ² - MUESTRA 7					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.80	0.80	0.08	530.93
10	20	4.10	4.90	0.41	530.93
10	30	9.25	14.15	0.93	530.93
10	40	15.62	29.77	1.56	530.93
30	70	23.10	52.87	0.77	530.93
30	100	16.42	69.29	0.55	530.93
30	130	8.45	77.74	0.28	530.93
30	160	3.89	81.63	0.13	530.93
30	190	1.02	82.65	0.03	530.93
30	220	0.00	82.65	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	82.65 ml
WT	36.82 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO F'C=210KG/CM ² - MUESTRA 8					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	1.15	1.15	0.12	530.93
10	20	6.80	7.95	0.68	530.93
10	30	11.06	19.01	1.11	530.93
10	40	17.24	36.25	1.72	530.93
30	70	23.25	59.50	0.78	530.93
30	100	13.23	72.73	0.44	530.93
30	130	8.50	81.23	0.28	530.93
30	160	4.78	86.01	0.16	530.93
30	190	1.08	87.09	0.04	530.93
30	220	0.00	87.09	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	87.09 ml
WT	36.82 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO F'C=210KG/CM ² - MUESTRA 9					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.95	0.95	0.10	530.93
10	20	4.65	5.60	0.47	530.93
10	30	10.75	16.35	1.08	530.93
10	40	16.82	33.17	1.68	530.93
30	70	22.83	56.00	0.76	530.93
30	100	14.20	70.20	0.47	530.93
30	130	9.80	80.00	0.33	530.93
30	160	2.26	82.26	0.08	530.93
30	190	0.74	83.00	0.02	530.93
30	220	0.00	83.00	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	83.00 ml
WT	36.82 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO F'C=210KG/CM ² - MUESTRA 10					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.70	0.70	0.07	530.93
10	20	5.32	6.02	0.53	530.93
10	30	11.45	17.47	1.15	530.93
10	40	17.56	35.03	1.76	530.93
30	70	23.55	58.58	0.79	530.93
30	100	15.46	74.04	0.52	530.93
30	130	8.95	82.99	0.30	530.93
30	160	3.73	86.72	0.12	530.93
30	190	0.82	87.54	0.03	530.93
30	220	0.00	87.54	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	87.54 ml
WT	36.82 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg





Tabla 55: Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.6%, muestra 1 - 4

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6% - MUESTRA 1					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	2.00	2.00	0.20	530.93
10	30	3.80	5.80	0.38	530.93
10	40	4.80	10.60	0.48	530.93
30	70	5.00	15.60	0.17	530.93
30	100	6.30	21.90	0.21	530.93
30	130	4.10	26.00	0.14	530.93
30	160	1.26	27.26	0.04	530.93
30	190	0.15	27.41	0.01	530.93
30	220	0.00	27.41	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	27.41 ml
WT	36.86 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6% - MUESTRA 2					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	1.50	1.50	0.15	530.93
10	30	3.75	5.25	0.38	530.93
10	40	4.95	10.20	0.50	530.93
30	70	5.15	15.35	0.17	530.93
30	100	7.10	22.45	0.24	530.93
30	130	4.10	26.55	0.14	530.93
30	160	1.08	27.63	0.04	530.93
30	190	0.20	27.83	0.01	530.93
30	220	0.00	27.83	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	27.83 ml
WT	36.86 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6% - MUESTRA 3					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	1.26	1.26	0.13	530.93
10	30	4.18	5.44	0.42	530.93
10	40	5.15	10.59	0.52	530.93
30	70	7.30	17.89	0.24	530.93
30	100	4.28	22.17	0.14	530.93
30	130	3.25	25.42	0.11	530.93
30	160	2.03	27.45	0.07	530.93
30	190	0.10	27.55	0.00	530.93
30	220	0.00	27.55	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	27.55 ml
WT	36.86 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6% - MUESTRA 4					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	1.10	1.10	0.11	530.93
10	30	2.75	3.85	0.28	530.93
10	40	5.98	9.83	0.60	530.93
30	70	7.45	17.28	0.25	530.93
30	100	5.10	22.38	0.17	530.93
30	130	3.26	25.64	0.11	530.93
30	160	2.12	27.76	0.07	530.93
30	190	0.94	28.70	0.03	530.93
30	220	0.00	28.70	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	28.70 ml
WT	36.86 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg





Tabla 56: Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.6%, muestra 5 – 8

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6% - MUESTRA 5					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	1.03	1.03	0.10	530.93
10	30	3.45	4.48	0.35	530.93
10	40	5.62	10.10	0.56	530.93
30	70	7.16	17.26	0.24	530.93
30	100	5.32	22.58	0.18	530.93
30	130	3.65	26.23	0.12	530.93
30	160	1.09	27.32	0.04	530.93
30	190	0.03	27.35	0.00	530.93
30	220	0.00	27.35	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	27.35 ml
WT	36.86 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6% - MUESTRA 6					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	1.64	1.64	0.16	530.93
10	30	2.45	4.09	0.25	530.93
10	40	5.24	9.33	0.52	530.93
30	70	6.05	15.38	0.20	530.93
30	100	7.64	23.02	0.25	530.93
30	130	3.12	26.14	0.10	530.93
30	160	1.85	27.99	0.06	530.93
30	190	0.48	28.47	0.02	530.93
30	220	0.00	28.47	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	28.47 ml
WT	36.86 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6% - MUESTRA 7					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	1.87	1.87	0.19	530.93
10	30	3.10	4.97	0.31	530.93
10	40	4.26	9.23	0.43	530.93
30	70	4.58	13.81	0.15	530.93
30	100	7.26	21.07	0.24	530.93
30	130	4.37	25.44	0.15	530.93
30	160	2.02	27.46	0.07	530.93
30	190	0.16	27.62	0.01	530.93
30	220	0.00	27.62	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	27.62 ml
WT	36.86 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6% - MUESTRA 8					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	1.35	1.35	0.14	530.93
10	30	2.98	4.33	0.30	530.93
10	40	4.72	9.05	0.47	530.93
30	70	5.37	14.42	0.18	530.93
30	100	7.24	21.66	0.24	530.93
30	130	4.12	25.78	0.14	530.93
30	160	2.14	27.92	0.07	530.93
30	190	0.30	28.22	0.01	530.93
30	220	0.00	28.22	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	28.22 ml
WT	36.86 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg





Tabla 57: Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.6%, muestra 9 – 10

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6% - MUESTRA 9					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	1.23	1.23	0.12	530.93
10	30	3.60	4.83	0.36	530.93
10	40	5.23	10.06	0.52	530.93
30	70	7.21	17.27	0.24	530.93
30	100	5.46	22.73	0.18	530.93
30	130	3.24	25.97	0.11	530.93
30	160	1.23	27.20	0.04	530.93
30	190	0.19	27.39	0.01	530.93
30	220	0.00	27.39	0.00	530.93

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6% - MUESTRA 10					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	1.40	1.40	0.14	530.93
10	30	2.26	3.66	0.23	530.93
10	40	5.74	9.40	0.57	530.93
30	70	7.35	16.75	0.25	530.93
30	100	6.12	22.87	0.20	530.93
30	130	3.31	26.18	0.11	530.93
30	160	1.84	28.02	0.06	530.93
30	190	0.26	28.28	0.01	530.93
30	220	0.00	28.28	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	27.39 ml
WT	36.86 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	28.28 ml
WT	36.86 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

Tabla 58: Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.8%, muestra 1 – 2

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8% - MUESTRA 1					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.36	0.36	0.04	530.93
10	40	1.20	1.56	0.12	530.93
30	70	8.50	10.06	0.28	530.93
30	100	5.20	15.26	0.17	530.93
30	130	3.70	18.96	0.12	530.93
30	160	2.40	21.36	0.08	530.93
30	190	0.95	22.31	0.03	530.93
30	220	0.00	22.31	0.00	530.93

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8% - MUESTRA 2					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.26	0.26	0.03	530.93
10	40	2.00	2.26	0.20	530.93
30	70	7.96	10.22	0.27	530.93
30	100	5.23	15.45	0.17	530.93
30	130	3.50	18.95	0.12	530.93
30	160	1.90	20.85	0.06	530.93
30	190	0.88	21.73	0.03	530.93
30	220	0.00	21.73	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	22.31 ml
WT	36.87 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	21.73 ml
WT	36.87 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



Tabla 59: Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.8%, muestra 3 – 6

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8% - MUESTRA 3					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.18	0.18	0.02	530.93
10	40	1.26	1.44	0.13	530.93
30	70	3.26	4.70	0.11	530.93
30	100	8.10	12.80	0.27	530.93
30	130	5.75	18.55	0.19	530.93
30	160	2.86	21.41	0.10	530.93
30	190	0.94	22.35	0.03	530.93
30	220	0.00	22.35	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	22.35 ml
WT	36.87 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8% - MUESTRA 4					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.23	0.23	0.02	530.93
10	40	2.15	2.38	0.22	530.93
30	70	8.20	10.58	0.27	530.93
30	100	6.94	17.52	0.23	530.93
30	130	3.16	20.68	0.11	530.93
30	160	1.17	21.85	0.04	530.93
30	190	0.77	22.62	0.03	530.93
30	220	0.00	22.62	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	22.62 ml
WT	36.87 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8% - MUESTRA 5					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.33	0.33	0.03	530.93
10	40	2.20	2.53	0.22	530.93
30	70	8.10	10.63	0.27	530.93
30	100	6.39	17.02	0.21	530.93
30	130	3.17	20.19	0.11	530.93
30	160	1.19	21.38	0.04	530.93
30	190	0.93	22.31	0.03	530.93
30	220	0.00	22.31	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	22.31 ml
WT	36.87 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8% - MUESTRA 6					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.29	0.29	0.03	530.93
10	40	1.98	2.27	0.20	530.93
30	70	7.88	10.15	0.26	530.93
30	100	5.79	15.94	0.19	530.93
30	130	3.95	19.89	0.13	530.93
30	160	1.26	21.15	0.04	530.93
30	190	0.96	22.11	0.03	530.93
30	220	0.00	22.11	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	22.11 ml
WT	36.87 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



Tabla 60: Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.8%, muestra 7 – 10

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8% - MUESTRA 7					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.37	0.37	0.04	530.93
10	40	2.06	2.43	0.21	530.93
30	70	8.36	10.79	0.28	530.93
30	100	6.39	17.18	0.21	530.93
30	130	3.46	20.64	0.12	530.93
30	160	1.46	22.10	0.05	530.93
30	190	0.69	22.79	0.02	530.93
30	220	0.00	22.79	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	22.79 ml
WT	36.87 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8% - MUESTRA 8					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.34	0.34	0.03	530.93
10	40	2.18	2.52	0.22	530.93
30	70	8.13	10.65	0.27	530.93
30	100	6.12	16.77	0.20	530.93
30	130	3.89	20.66	0.13	530.93
30	160	1.23	21.89	0.04	530.93
30	190	0.74	22.63	0.02	530.93
30	220	0.00	22.63	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	22.63 ml
WT	36.87 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8% - MUESTRA 9					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.29	0.29	0.03	530.93
10	40	2.16	2.45	0.22	530.93
30	70	8.26	10.71	0.28	530.93
30	100	5.16	15.87	0.17	530.93
30	130	4.16	20.03	0.14	530.93
30	160	1.36	21.39	0.05	530.93
30	190	0.68	22.07	0.02	530.93
30	220	0.00	22.07	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	22.07 ml
WT	36.87 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8% - MUESTRA 10					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.31	0.31	0.03	530.93
10	40	2.23	2.54	0.22	530.93
30	70	8.33	10.87	0.28	530.93
30	100	5.14	16.01	0.17	530.93
30	130	3.86	19.87	0.13	530.93
30	160	1.26	21.13	0.04	530.93
30	190	0.95	22.08	0.03	530.93
30	220	0.00	22.08	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	22.08 ml
WT	36.87 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



Tabla 61: Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1%, muestra 1 – 4

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1% - MUESTRA 1					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.16	0.16	0.02	530.93
30	70	37.45	37.61	1.25	530.93
30	100	27.90	65.51	0.93	530.93
30	130	20.11	85.62	0.67	530.93
30	160	10.34	95.96	0.34	530.93
30	190	5.31	101.27	0.18	530.93
30	220	0.29	101.56	0.01	530.93
30	250	0.00	101.56	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	101.56 ml
WT	36.88 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1% - MUESTRA 2					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.18	0.18	0.02	530.93
30	70	38.20	38.38	1.27	530.93
30	100	27.25	65.63	0.91	530.93
30	130	19.88	85.51	0.66	530.93
30	160	10.26	95.77	0.34	530.93
30	190	5.41	101.18	0.18	530.93
30	220	0.37	101.55	0.01	530.93
30	250	0.00	101.55	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	101.55 ml
WT	36.88 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1% - MUESTRA 3					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.18	0.18	0.02	530.93
30	70	37.85	38.03	1.26	530.93
30	100	26.96	64.99	0.90	530.93
30	130	18.97	83.96	0.63	530.93
30	160	10.45	94.41	0.35	530.93
30	190	6.20	100.61	0.21	530.93
30	220	0.36	100.97	0.01	530.93
30	250	0.00	100.97	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	100.97 ml
WT	36.88 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1% - MUESTRA 4					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.16	0.16	0.02	530.93
30	70	38.05	38.21	1.27	530.93
30	100	27.55	65.76	0.92	530.93
30	130	18.23	83.99	0.61	530.93
30	160	11.30	95.29	0.38	530.93
30	190	5.43	100.72	0.18	530.93
30	220	0.33	101.05	0.01	530.93
30	250	0.00	101.05	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	101.05 ml
WT	36.88 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



Tabla 62: Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1%, muestra 5 – 8

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1% - MUESTRA 5					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.20	0.20	0.02	530.93
30	70	38.24	38.44	1.27	530.93
30	100	26.80	65.24	0.89	530.93
30	130	18.99	84.23	0.63	530.93
30	160	10.65	94.88	0.36	530.93
30	190	5.93	100.81	0.20	530.93
30	220	0.46	101.27	0.02	530.93
30	250	0.00	101.27	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	101.27 ml
WT	36.88 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1% - MUESTRA 6					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.17	0.17	0.02	530.93
30	70	37.60	37.77	1.25	530.93
30	100	27.36	65.13	0.91	530.93
30	130	19.05	84.18	0.64	530.93
30	160	11.20	95.38	0.37	530.93
30	190	5.56	100.94	0.19	530.93
30	220	0.47	101.41	0.02	530.93
30	250	0.00	101.41	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	101.41 ml
WT	36.88 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1% - MUESTRA 7					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.18	0.18	0.02	530.93
30	70	38.21	38.39	1.27	530.93
30	100	27.14	65.53	0.90	530.93
30	130	19.62	85.15	0.65	530.93
30	160	10.84	95.99	0.36	530.93
30	190	5.13	101.12	0.17	530.93
30	220	0.75	101.87	0.03	530.93
30	250	0.00	101.87	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	101.87 ml
WT	36.88 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1% - MUESTRA 8					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.16	0.16	0.02	530.93
30	70	38.23	38.39	1.27	530.93
30	100	27.28	65.67	0.91	530.93
30	130	18.65	84.32	0.62	530.93
30	160	11.03	95.35	0.37	530.93
30	190	4.95	100.30	0.17	530.93
30	220	0.69	100.99	0.02	530.93
30	250	0.00	100.99	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	100.99 ml
WT	36.88 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg





Tabla 63: Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1%, muestra 9 – 10

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1% - MUESTRA 9					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.18	0.18	0.02	530.93
30	70	37.85	38.03	1.26	530.93
30	100	28.45	66.48	0.95	530.93
30	130	17.95	84.43	0.60	530.93
30	160	10.76	95.19	0.36	530.93
30	190	5.29	100.48	0.18	530.93
30	220	0.65	101.13	0.02	530.93
30	250	0.00	101.13	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	101.13 ml
WT	36.88 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1% - MUESTRA 10					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.17	0.17	0.02	530.93
30	70	38.11	38.28	1.27	530.93
30	100	27.58	65.86	0.92	530.93
30	130	17.98	83.84	0.60	530.93
30	160	11.13	94.97	0.37	530.93
30	190	5.26	100.23	0.18	530.93
30	220	0.73	100.96	0.02	530.93
30	250	0.00	100.96	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	100.96 ml
WT	36.88 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



Tabla 64: Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1.5%, muestra 1 – 2

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5% - MUESTRA 1					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0	0.00	0.00	530.93
10	20	0	0.00	0.00	530.93
10	30	0	0.00	0.00	530.93
10	40	0	0.00	0.00	530.93
30	70	98.31	98.31	3.28	530.93
30	100	41.13	139.44	1.37	530.93
30	130	21.54	160.98	0.72	530.93
30	160	10.71	171.69	0.36	530.93
30	190	5.31	177.00	0.18	530.93
30	220	0.63	177.63	0.02	530.93
30	250	0	177.63	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	177.63 ml
WT	36.91 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5% - MUESTRA 2					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT: VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.00	0.00	0.00	530.93
30	70	97.63	97.63	3.25	530.93
30	100	41.20	138.83	1.37	530.93
30	130	20.93	159.76	0.70	530.93
30	160	11.45	171.21	0.38	530.93
30	190	5.22	176.43	0.17	530.93
30	220	0.70	177.13	0.02	530.93
30	250	0.00	177.13	0.00	530.93

Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	177.13 ml
WT	36.91 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg





Tabla 65: Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1.5%, muestra 3 – 6

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5% - MUESTRA 3					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.00	0.00	0.00	530.93
30	70	98.50	98.50	3.28	530.93
30	100	40.35	138.85	1.35	530.93
30	130	21.14	159.99	0.70	530.93
30	160	10.96	170.95	0.37	530.93
30	190	5.76	176.71	0.19	530.93
30	220	0.64	177.35	0.02	530.93
30	250	0.00	177.35	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	177.35 ml
WT	36.91 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5% - MUESTRA 4					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.00	0.00	0.00	530.93
30	70	97.82	97.82	3.26	530.93
30	100	41.18	139.00	1.37	530.93
30	130	21.46	160.46	0.72	530.93
30	160	11.56	172.02	0.39	530.93
30	190	4.86	176.88	0.16	530.93
30	220	0.73	177.61	0.02	530.93
30	250	0.00	177.61	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	177.61 ml
WT	36.91 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5% - MUESTRA 5					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.00	0.00	0.00	530.93
30	70	98.34	98.34	3.28	530.93
30	100	40.86	139.20	1.36	530.93
30	130	20.98	160.18	0.70	530.93
30	160	10.92	171.10	0.36	530.93
30	190	5.54	176.64	0.18	530.93
30	220	0.81	177.45	0.03	530.93
30	250	0.00	177.45	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	177.45 ml
WT	36.91 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5% - MUESTRA 6					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.00	0.00	0.00	530.93
30	70	97.93	97.93	3.26	530.93
30	100	41.26	139.19	1.38	530.93
30	130	21.13	160.32	0.70	530.93
30	160	11.06	171.38	0.37	530.93
30	190	5.68	177.06	0.19	530.93
30	220	0.67	177.73	0.02	530.93
30	250	0.00	177.73	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	177.73 ml
WT	36.91 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



Tabla 66: Hoja de recolección de datos para el ensayo de exudación del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1.5%, muestra 7 – 10

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5% - MUESTRA 7					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.00	0.00	0.00	530.93
30	70	98.26	98.26	3.28	530.93
30	100	42.00	140.26	1.40	530.93
30	130	20.59	160.85	0.69	530.93
30	160	10.67	171.52	0.36	530.93
30	190	5.63	177.15	0.19	530.93
30	220	0.82	177.97	0.03	530.93
30	250	0.00	177.97	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	177.97 ml
WT	36.91 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5% - MUESTRA 8					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.00	0.00	0.00	530.93
30	70	97.84	97.84	3.26	530.93
30	100	40.36	138.20	1.35	530.93
30	130	21.16	159.36	0.71	530.93
30	160	11.28	170.64	0.38	530.93
30	190	6.18	176.82	0.21	530.93
30	220	0.79	177.61	0.03	530.93
30	250	0.00	177.61	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	177.61 ml
WT	36.91 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5% - MUESTRA 9					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.00	0.00	0.00	530.93
30	70	98.46	98.46	3.28	530.93
30	100	41.27	139.73	1.38	530.93
30	130	20.49	160.22	0.68	530.93
30	160	10.64	170.86	0.35	530.93
30	190	6.12	176.98	0.20	530.93
30	220	0.84	177.82	0.03	530.93
30	250	0.00	177.82	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	177.82 ml
WT	36.91 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5% - MUESTRA 10					
TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	V1: VOLUMEN PARCIAL EXUDADO (ML)	VT. VOLUMEN ACUMULADO EXUDADO (ML)	VELOCIDAD DE EXUDACION (ML/MIN)	A: AREA DEL CONCRETO EXPUESTO (CM ²) $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) x D^2$
10	10	0.00	0.00	0.00	530.93
10	20	0.00	0.00	0.00	530.93
10	30	0.00	0.00	0.00	530.93
10	40	0.00	0.00	0.00	530.93
30	70	97.95	97.95	3.27	530.93
30	100	40.86	138.81	1.36	530.93
30	130	21.95	160.76	0.73	530.93
30	160	10.06	170.82	0.34	530.93
30	190	5.49	176.31	0.18	530.93
30	220	0.90	177.21	0.03	530.93
30	250	0.00	177.21	0.00	530.93



Datos:	
A	530.93 cm ²
VT	177.21 ml
WT	36.91 kg
WM	29.92 kg
WA	3.12 kg



3.5.14 Ensayo de cohesión del concreto (NTP 339.035)

3.5.14.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba

- a) Cono de Abrams.
- b) Varilla apisonadora.
- c) Wincha.
- d) Cucharón metálico.
- e) Bandejas.
- f) Mezcladora de 9 p³.
- g) Nivel.
- h) Concreto, de acuerdo al diseño para 3 kg de cemento.
- i) Aditivo al 0.6%, 0.8%, 1% y 1.5%.

3.5.14.2 Procedimiento

- 1) Para iniciar este proceso se humedeció el interior del cono de Abrams y la placa de asiento. Luego se procedió a colocar la placa de asiento en un terreno nivelado y sin moverse del sitio designado, se colocó el cono de Abrams encima de la placa de asiento y se pisó las aletas del mismo para que no se pueda mover.



Figura 73: Nivelado e instalación del Cono de Abrams

- 2) Para el vertido del concreto al molde, se tuvo en cuenta que al llenar el cono se realizó en 3 capas, al ingresar primera porción de mezcla de concreto se apisono con 25 golpes distribuidos uniformemente.



Figura 74: Proceso de vertido del concreto en tres capas en el cono de Abrams

- 3) Este mismo proceso se realizó para la segunda y tercera capa, llenando la última hasta colmarlo, para luego enrasar.
- 4) Se retiró el molde de la muestra cuidadosamente en dirección vertical para este proceso realizo en un lapso dos minutos.



Figura 75: Retiro del cono de Abrams en forma perpendicular

- 5) Finalmente se midió la diferencia de altura que presentó la muestra con respecto al molde y se registró la medida en pulgadas.

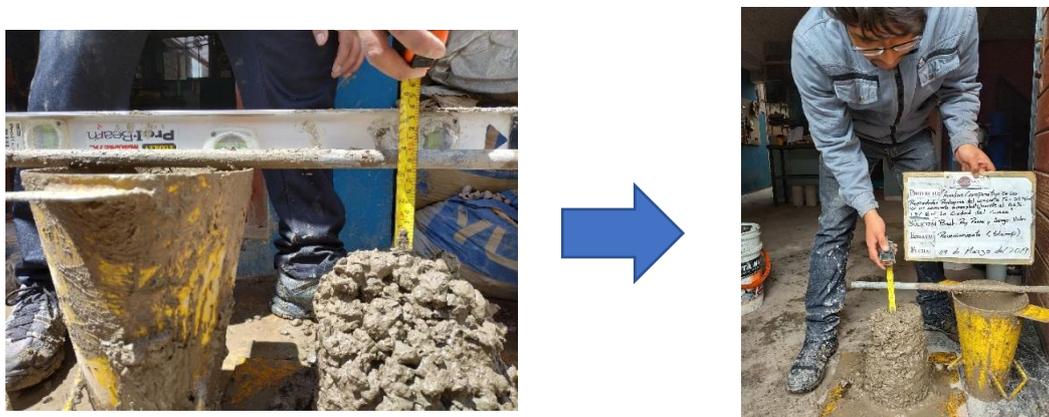


Figura 76: Registro en pulgadas del slump obtenido de la muestra de concreto



3.5.14.3 Toma de datos

Tabla 67: Hoja de recolección de datos para el ensayo de revenimiento del concreto patrón

$f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

ENSAYO DE COHESION PARA EL CONCRETO F'C=210KG/CM²	
DATOS:	MEDICION DEL SLUMP (pulg)
Muestra N°01	2.00
Muestra N°02	2.50
Muestra N°03	2.70
Muestra N°04	3.00
Muestra N°05	2.50
Muestra N°06	3.00
Muestra N°07	3.10
Muestra N°08	2.80
Muestra N°09	2.60
Muestra N°10	3.00

Tabla 68: Hoja de recolección de datos para el ensayo de revenimiento del concreto patrón

con aditivo superplastificante al 0.6%

ENSAYO DE COHESION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6%	
DATOS:	MEDICION DEL SLUMP (pulg)
Muestra N°01	3.80
Muestra N°02	4.20
Muestra N°03	4.50
Muestra N°04	4.00
Muestra N°05	4.20
Muestra N°06	3.70
Muestra N°07	4.30
Muestra N°08	4.20
Muestra N°09	4.50
Muestra N°10	4.00



Tabla 69: Hoja de recolección de datos para el ensayo de revenimiento del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.8%

ENSAYO DE COHESION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8%	
DATOS:	MEDICION DEL SLUMP (pulg)
Muestra N°01	4.80
Muestra N°02	5.50
Muestra N°03	5.20
Muestra N°04	5.00
Muestra N°05	5.30
Muestra N°06	5.80
Muestra N°07	5.40
Muestra N°08	5.80
Muestra N°09	5.50
Muestra N°10	5.20

Tabla 70: Hoja de recolección de datos para el ensayo de revenimiento del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1%

ENSAYO DE COHESION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1%	
DATOS:	MEDICION DEL SLUMP (pulg)
Muestra N°01	7.50
Muestra N°02	8.00
Muestra N°03	8.20
Muestra N°04	7.60
Muestra N°05	7.70
Muestra N°06	7.90
Muestra N°07	8.00
Muestra N°08	7.20
Muestra N°09	8.00
Muestra N°10	8.60



Tabla 71: Hoja de recolección de datos para el ensayo de revenimiento del concreto patrón con aditivo superplastificante al 1.5%

ENSAYO DE COHESION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5%	
DATOS:	MEDICION DEL SLUMP (pulg)
Muestra N°01	10.00
Muestra N°02	10.30
Muestra N°03	10.80
Muestra N°04	10.50
Muestra N°05	10.00
Muestra N°06	10.20
Muestra N°07	10.60
Muestra N°08	10.70
Muestra N°09	10.50
Muestra N°10	10.00

3.5.15 Ensayo de viscosidad del concreto (Viscosímetro de cilindros concéntricos)

3.5.15.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba

- a) Viscosímetro de cilindros concéntricos (Viscosímetro de Couette).
- b) Recipiente de plástico.
- c) Cucharón metálico o pala de jardinero.
- d) Badilejo.
- e) Juego de pesas (1.5 Kg, 2 Kg, 2.5 Kg y 3 Kg).
- f) Sensor rotacional.
- g) Interfaz del sensor Xplorer GLX – Pasco.
- h) Cordel.
- i) Concreto, de acuerdo al diseño para 2 kg de cemento.
- j) Aditivo al 0.6%, 0.8%, 1% y 1.5%.

3.5.15.2 Procedimiento

- 1) Se inició el ensayo con un cálculo del volumen requerido de concreto en el cilindro del viscosímetro, en el cual se determinó una relación del diseño de mezclas por 2 Kg de cemento.
- 2) Una vez que pesamos todas las cantidades necesarias para la muestra del concreto, se procedió con el mezclado, vertiendo en primer lugar el agregado grueso, posteriormente los agregados finos con el cemento portland, hasta que tuvimos una muestra homogénea, enseguida se vertió el agua requerida en pequeñas dosis para poder mezclar y obtener la pasta necesaria del concreto.

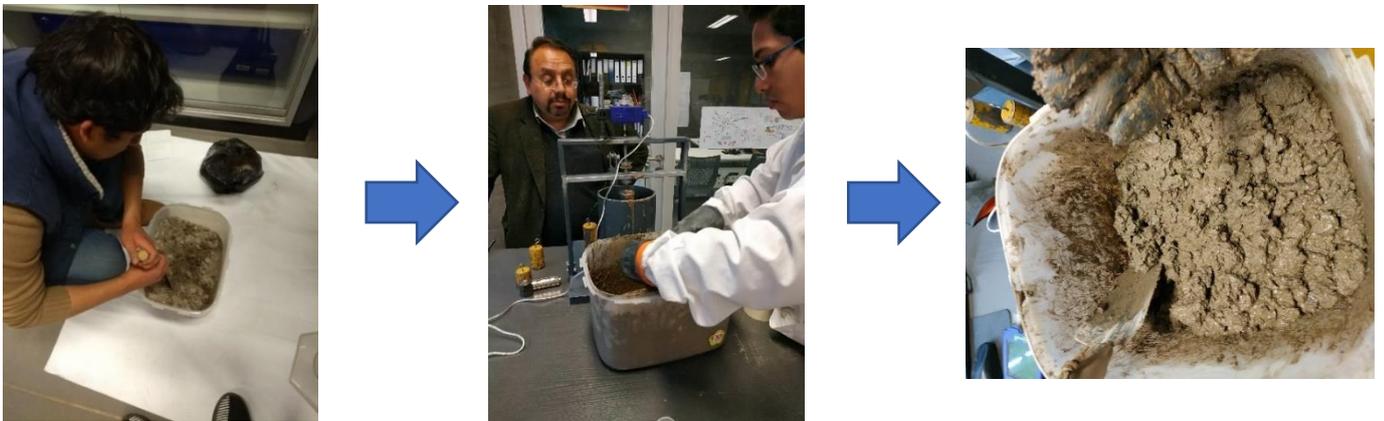


Figura 77: Proceso de obtención de la mezcla de concreto a ensayar

- 3) Mientras se preparó la muestra de concreto para el ensayo, se procedió a la instalación y armado del viscosímetro, el cordel tubo que estar enroscado con la polea del extremo y la polea del medio con el objetivo de que sea como un circuito secuencial.



Figura 78: Instalación y armado del viscosímetro



- 4) Se procedió a llenar el cilindro externo (también llamado copa) del viscosímetro, con ayuda de la pala de jardinero en forma circular hasta llenar el recipiente.



Figura 79: Vertido del concreto en el viscosímetro

- 5) Con el concreto dentro del viscosímetro se procedió a la realizar pruebas de medición, para determinar la rapidez de deformación en este sistema de cilindros concéntricos y así hallar la velocidad tangencial del cilindro interior o vástago en función a la velocidad con que descendía las pesas.

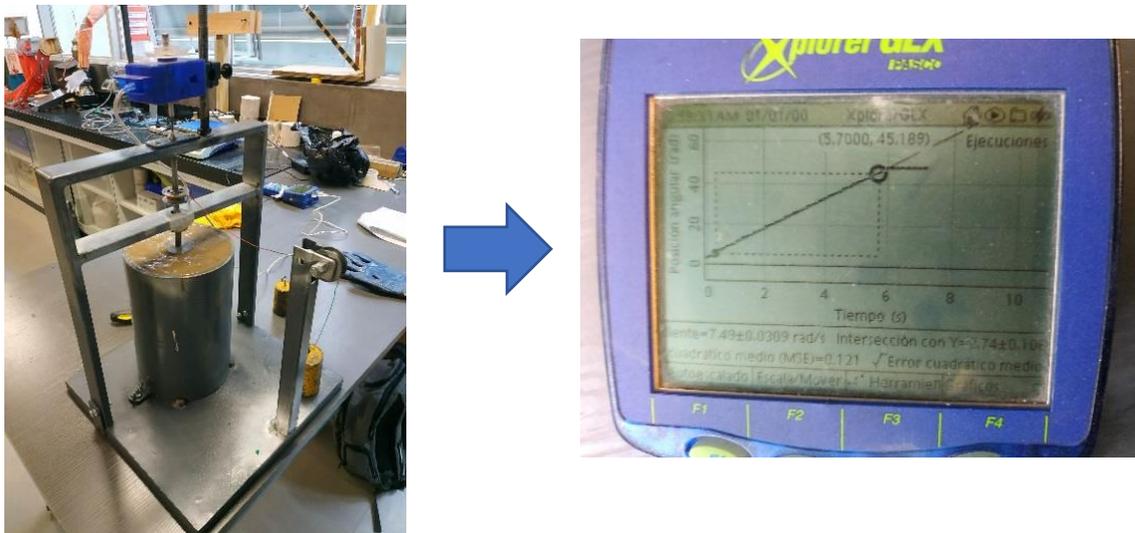


Figura 80: Obtención de gradiente de velocidades para hallar la viscosidad del concreto

- 6) Se realizaron 10 mediciones de la velocidad tangencial con el concreto patrón, con diferentes pesos (1.5 Kg, 2 Kg, 2.5 Kg, 3 Kg) y se registró de los datos para su posterior procesamiento.

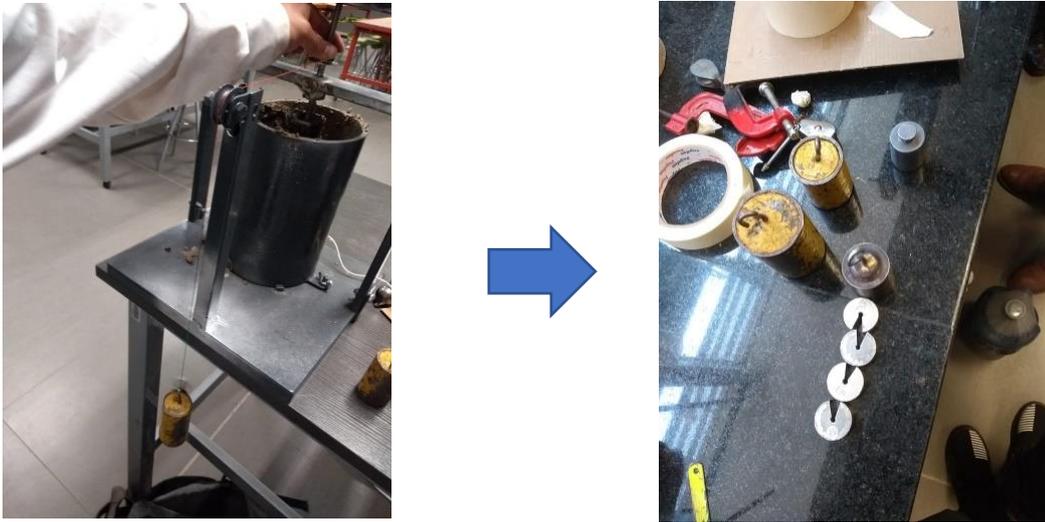


Figura 81: Mediciones con distintos pesos para el ensayo de viscosidad

- 7) De igual forma se repitieron los pasos ya mencionados para los concretos alterados con el aditivo superplastificante en porcentaje de 0.6%, 0.8%, 1% y 1.5%.



Figura 82: Registro de las diferentes dosificaciones de estudio para el ensayo de viscosidad

- 8) Finalmente se registró las características y comportamiento de cada muestra concreto ensayada.

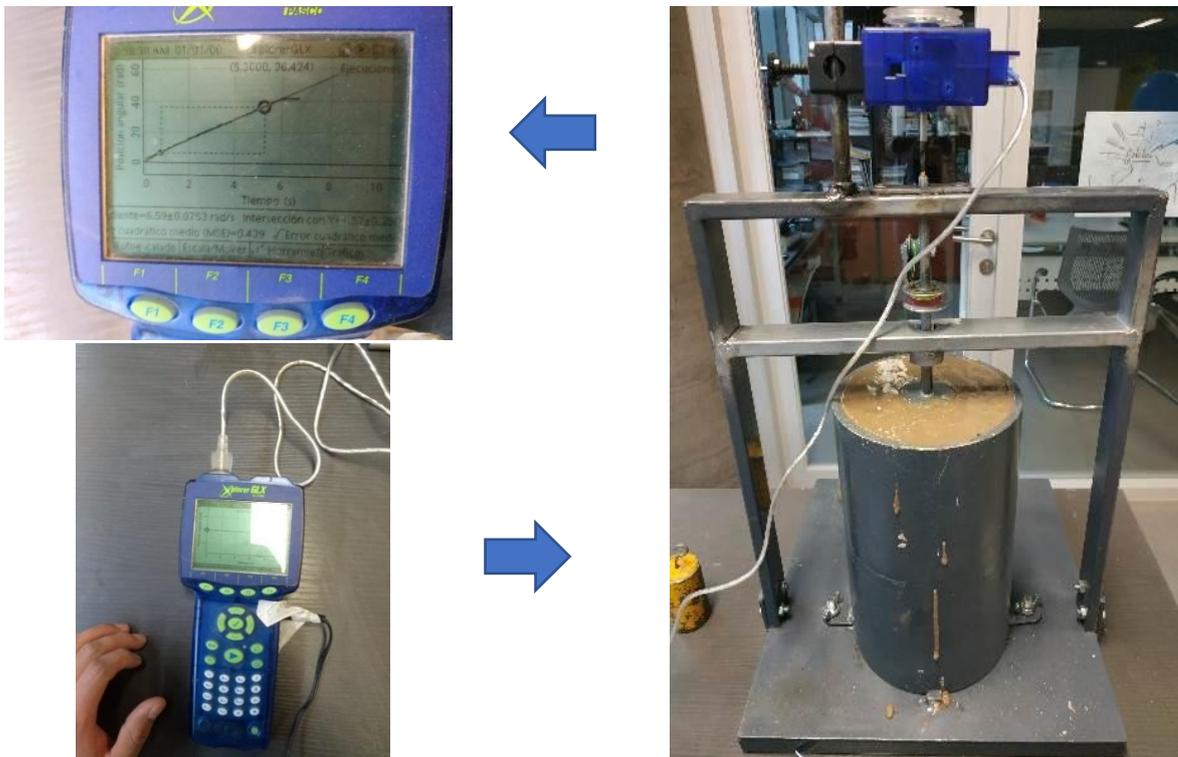


Figura 83: Proceso de registró con la interfaz y el sensor rotacional de la viscosidad

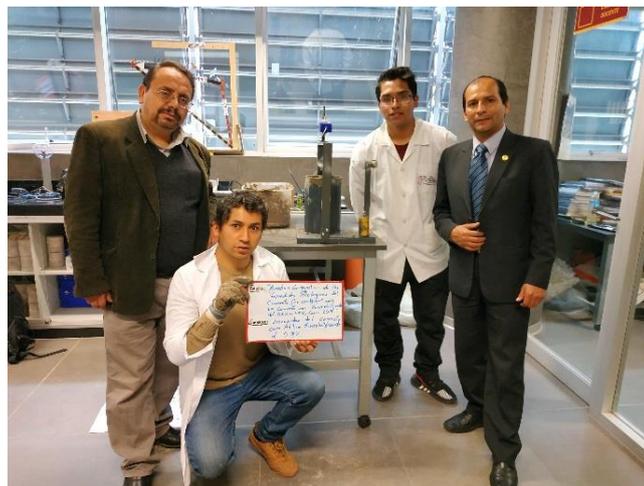


Figura 84: Supervisión del asesor y apoyo del co-asesor en laboratorio de física de la Universidad Andina del Cusco.



3.5.15.3 Toma de datos

Tabla 72: Hoja de recolección de datos para el ensayo de viscosidad del concreto patrón
 $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y con aditivo superplastificante al 0.6%

ENSAYO DE VISCOSIDAD PARA EL CONCRETO $F'c=210\text{KG}/\text{CM}^2$		
MUESTRA	GRADIENTE DE VELOCIDAD (rad/s)	MASA (KG)
N° 1	0.77	1.00
N° 2	0.78	1.00
N° 3	1.18	1.53
N° 4	1.20	1.53
N° 5	1.52	2.00
N° 6	1.53	2.00
N° 7	1.96	2.53
N° 8	1.94	2.53
N° 9	2.31	3.00
N° 10	2.33	3.00



Datos:	
Gravedad	9,76
r (Radio del eje)	0,00325
R ₂ (Radio de la copa)	0,0762
R ₁ (Radio del vastago)	0,0254
l (Distancia del vastago)	0,22

ENSAYO DE VISCOSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6%		
MUESTRA	GRADIENTE DE VELOCIDAD (rad/s)	MASA (KG)
N° 1	1.52	1.00
N° 2	1.54	1.00
N° 3	2.33	1.53
N° 4	2.35	1.53
N° 5	3.02	2.00
N° 6	3.05	2.00
N° 7	3.84	2.53
N° 8	3.86	2.53
N° 9	4.59	3.00
N° 10	4.61	3.00



Datos:	
Gravedad	9,76
r (Radio del eje)	0,00325
R ₂ (Radio de la copa)	0,0762
R ₁ (Radio del vastago)	0,0254
l (Distancia del vastago)	0,22



Tabla 73: Hoja de recolección de datos para el ensayo de viscosidad del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.8%, 1% y 1.5%

ENSAYO DE VISCOSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8%		
MUESTRA	GRADIENTE DE VELOCIDAD (rad/s)	MASA (KG)
N° 1	3.21	1.00
N° 2	3.33	1.00
N° 3	5.08	1.53
N° 4	5.12	1.53
N° 5	6.54	2.00
N° 6	6.57	2.00
N° 7	8.15	2.53
N° 8	8.17	2.53
N° 9	9.41	3.00
N° 10	9.46	3.00



Datos:	
Gravedad	9,76
r (Radio del eje)	0,00325
R ₂ (Radio de la copa)	0,0762
R ₁ (Radio del vastago)	0,0254
l (Distancia del vastago)	0,22

ENSAYO DE VISCOSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1%		
MUESTRA	GRADIENTE DE VELOCIDAD (rad/s)	MASA (KG)
N° 1	32.52	1.00
N° 2	33.94	1.00
N° 3	49.56	1.53
N° 4	51.24	1.53
N° 5	64.35	2.00
N° 6	66.32	2.00
N° 7	82.34	2.53
N° 8	83.21	2.53
N° 9	86.67	3.00
N° 10	87.52	3.00



Datos:	
Gravedad	9,76
r (Radio del eje)	0,00325
R ₂ (Radio de la copa)	0,0762
R ₁ (Radio del vastago)	0,0254
l (Distancia del vastago)	0,22

ENSAYO DE VISCOSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5%		
MUESTRA	GRADIENTE DE VELOCIDAD (rad/s)	MASA (KG)
N° 1	56.54	1.00
N° 2	57.65	1.00
N° 3	84.52	1.53
N° 4	85.21	1.53
N° 5	112.30	2.00
N° 6	113.45	2.00
N° 7	143.25	2.53
N° 8	144.22	2.53
N° 9	167.40	3.00
N° 10	169.20	3.00



Datos:	
Gravedad	9,76
r (Radio del eje)	0,00325
R ₂ (Radio de la copa)	0,0762
R ₁ (Radio del vastago)	0,0254
l (Distancia del vastago)	0,22



3.5.16 Ensayo de densidad del concreto (NTP 339.046)

3.5.16.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba

- a) Balanza de capacidad ± 30 kg.
- b) Mezcladora de 9 p³.
- c) Varilla de apisonado.
- d) Recipiente de 6 litros.
- e) Placa enrrasadora.
- f) Mazo de goma.
- g) Cucharón.
- h) Concreto, de acuerdo al diseño para 4 kg de cemento.
- i) Aditivo al 0.6%, 0.8%, 1% y 1.5%.

3.5.16.2 Procedimiento

- 1) Se seleccionó el método de consolidación basado en el ensayo de asentamiento, el método utilizado de consolidación fue el apisonamiento con varilla, ya que tenemos concretos con asentamiento de menor o igual a 3pulg.
- 2) Luego se obtuvo la masa del recipiente de medida (Mm) en kilogramos.



Figura 85: Registro del peso del recipiente de densidad

- 3) Una vez que se obtuvo la mezcla de concreto se vertió en el recipiente en tres capas de aproximadamente el mismo volumen en cada una.



Figura 86: Vertido de la mezcla de concreto hacia el recipiente de densidad

- 4) Se varilló cada capa uniformemente sobre toda la sección transversal, con el extremo redondeado de la varilla utilizando el número requerido de golpes. Se varilló la capa interior en todo su espesor al realizarlo esta capa se tuvo que tener cuidado de no dañar el fondo del recipiente, para cada capa superior, la varilla penetra a través de la capa que se varilló y en la capa inferior aproximadamente 25 mm (1 pulg). Inmediatamente después culminado el varillado se golpeó suavemente los lados del recipiente con el mazo de goma con el propósito de cerrar los espacios vacíos dejados por la varilla apisonadora y así también liberar las burbujas de aire que hayan sido atrapadas.



Figura 87: Proceso de varillado por cada capa



- 5) Una vez que culminamos la consolidación del concreto, se verificó que no tenga exceso sustancial de concreto, ya que la norma recomienda un exceso de aproximadamente 3 mm por encima del tope de recipiente. En alguno de los casos se agregó una pequeña cantidad de concreto para corregir alguna deficiencia.

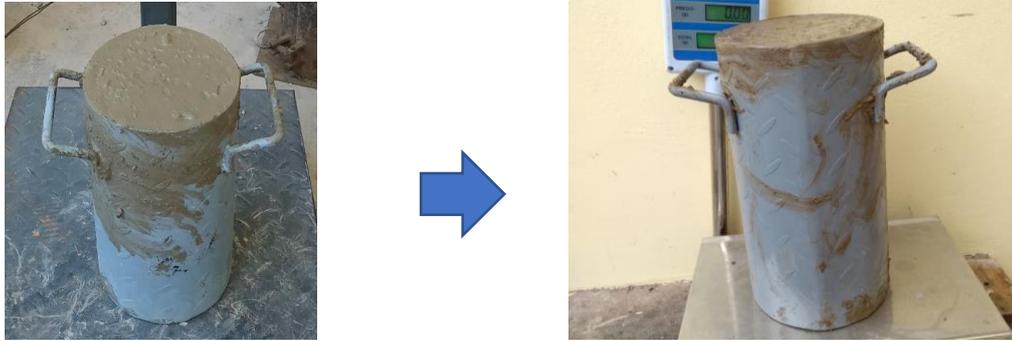


Figura 88: Proceso de limpiado del exceso de concreto

- 6) El enrasado se logró mejor presionando la placa sobre la superficie del recipiente cubriendo aproximadamente dos terceras partes de esta y retirando la placa con un movimiento a manera de aserrado sobre el área cubierta, con la finalidad que se quede una superficie de acabado liso.



Figura 89: Enrasado del concreto

- 7) Luego de enrasar y limpiar todo el concreto del exterior del recipiente, se registró el peso del recipiente de medida llenado con concreto (Mc) en kilogramos haciendo uso de una balanza.



Figura 90: Registro del peso del concreto de densidad

3.5.16.3 Toma de datos

Tabla 74: Hoja de recolección de datos para el ensayo de densidad del concreto patrón $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y con aditivo superplastificante al 0.6%

ENSAYO DE DENSIDAD PARA EL CONCRETO $f'c=210\text{KG}/\text{CM}^2$			
MUESTRA	Mc: MASA DEL RECIPIENTE DE MEDIDA LLENADO CON CONCRETO (KG)	Mm: MASA DEL RECIPIENTE DE MEDIDA (KG)	Vm: VOLUMEN DE DEL RECIPIENTE DE MEDIDA (M^3)
N°1	17.13	3.05	0.01
N°2	17.20	3.05	0.01
N°3	17.23	3.05	0.01
N°4	17.12	3.05	0.01
N°5	17.15	3.05	0.01
N°6	17.13	3.05	0.01
N°7	17.17	3.05	0.01
N°8	17.18	3.05	0.01
N°9	17.19	3.05	0.01
N°10	17.24	3.05	0.01
ENSAYO DE DENSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6%			
MUESTRA	Mc: MASA DEL RECIPIENTE DE MEDIDA LLENADO CON CONCRETO (KG)	Mm: MASA DEL RECIPIENTE DE MEDIDA (KG)	Vm: VOLUMEN DE DEL RECIPIENTE DE MEDIDA (M^3)
N°1	17.26	3.05	0.01
N°2	17.33	3.05	0.01
N°3	17.42	3.05	0.01
N°4	17.35	3.05	0.01
N°5	17.26	3.05	0.01
N°6	17.35	3.05	0.01
N°7	17.43	3.05	0.01
N°8	17.25	3.05	0.01
N°9	17.31	3.05	0.01
N°10	17.43	3.05	0.01



Tabla 75: Hoja de recolección de datos para el ensayo de densidad del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.8%, 1% y 1.5%

ENSAYO DE DENSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8%			
MUESTRA	Mc: MASA DEL RECIPIENTE DE MEDIDA LLENADO CON CONCRETO (KG)	Mm: MASA DEL RECIPIENTE DE MEDIDA (KG)	Vm: VOLUMEN DE DEL RECIPIENTE DE MEDIDA (M ³)
N°1	17.44	3.05	0.01
N°2	17.44	3.05	0.01
N°3	17.40	3.05	0.01
N°4	17.53	3.05	0.01
N°5	17.38	3.05	0.01
N°6	17.43	3.05	0.01
N°7	17.40	3.05	0.01
N°8	17.50	3.05	0.01
N°9	17.46	3.05	0.01
N°10	17.43	3.05	0.01

ENSAYO DE DENSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1%			
MUESTRA	Mc: MASA DEL RECIPIENTE DE MEDIDA LLENADO CON CONCRETO (KG)	Mm: MASA DEL RECIPIENTE DE MEDIDA (KG)	Vm: VOLUMEN DE DEL RECIPIENTE DE MEDIDA (M ³)
N°1	17.45	3.05	0.01
N°2	17.55	3.05	0.01
N°3	17.60	3.05	0.01
N°4	17.46	3.05	0.01
N°5	17.53	3.05	0.01
N°6	17.47	3.05	0.01
N°7	17.65	3.05	0.01
N°8	17.48	3.05	0.01
N°9	17.44	3.05	0.01
N°10	17.56	3.05	0.01

ENSAYO DE DENSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5%			
MUESTRA	Mc: MASA DEL RECIPIENTE DE MEDIDA LLENADO CON CONCRETO (KG)	Mm: MASA DEL RECIPIENTE DE MEDIDA (KG)	Vm: VOLUMEN DE DEL RECIPIENTE DE MEDIDA (M ³)
N°1	17.70	3.05	0.01
N°2	17.65	3.05	0.01
N°3	17.75	3.05	0.01
N°4	17.81	3.05	0.01
N°5	17.75	3.05	0.01
N°6	17.70	3.05	0.01
N°7	17.87	3.05	0.01
N°8	17.68	3.05	0.01
N°9	17.80	3.05	0.01
N°10	17.76	3.05	0.01



3.5.17 Ensayo de factor de compactación del concreto (BS 1881: Part 103)

3.5.17.1 Equipos y materiales utilizados en la prueba

- a) Balanza de capacidad ± 30 kg.
- b) Mezcladora de 9 p³.
- c) Varilla apisonadora de 16mm de diámetro 610mm de largo.
- d) Aparato de factor de compactación.
- e) Cucharón.
- f) Espátula.
- g) Concreto, de acuerdo al diseño para 5 kg de cemento.
- h) Aditivo al 0.6%, 0.8%, 1% y 1.5%.

3.5.17.2 Procedimiento

- 1) Primeramente, se aseguró y se humedeció las superficies internas de las tolvas y del cilindro inferior.



Figura 91: Instalación y reajustes del equipo de factor de compactación

- 2) Se registró el peso del cilindro vacío (W1) en kg con la ayuda de una balanza.



Figura 92: Registro del peso de la briqueta vacía



- 3) El aparato se colocó en una superficie libre de vibraciones o golpes de tal manera que sea estable con los ejes de las tolvas y del cilindro inferior, con la finalidad de que todo esté en un mismo eje vertical.
- 4) Seguidamente se cerró las dos trampillas de las tolvas y se aseguró las tuercas mariposa del cilindro inferior.

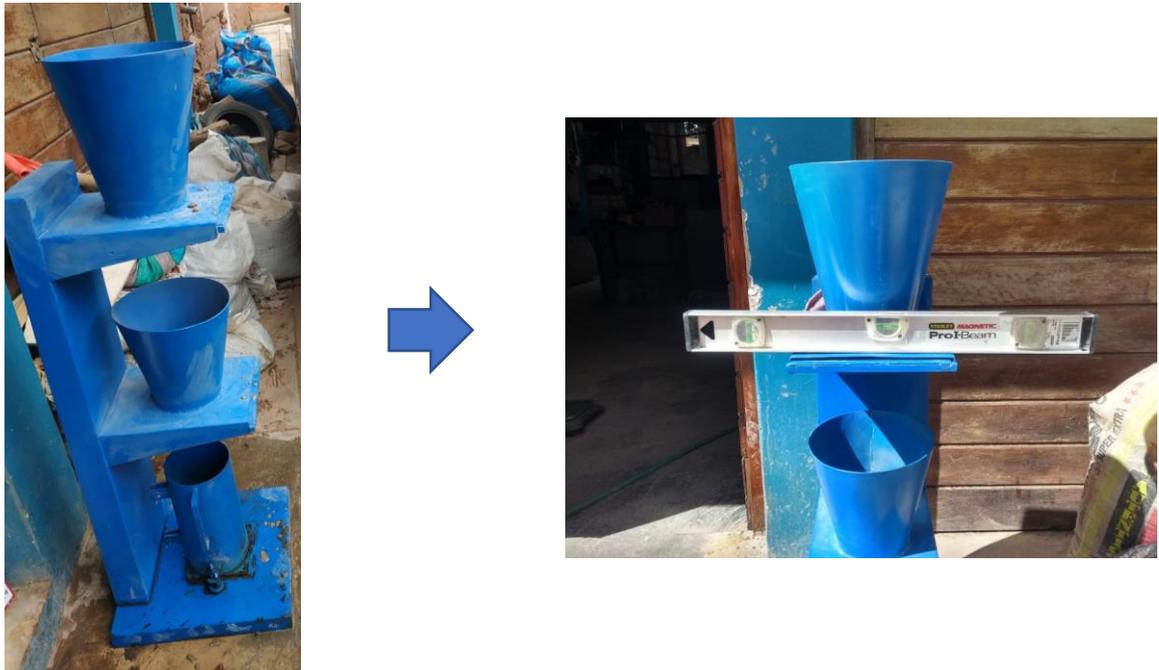


Figura 93: Nivelación y alineamiento del equipo de factor de compactación

- 5) Una vez que se obtuvo la mezcla de concreto, se vertió suavemente en la tolva superior usando una cuchara hasta que la tolva se llene por completo.



Figura 94: Vertido de la mezcla de concreto hacia el aparato de factor de compactación



- 6) Luego se abrió trampa superior para que el concreto caiga en la tolva inferior repita el procedimiento en la segunda tolva para que finalmente caiga en el cilindro.



Figura 95: Procedimiento por gravedad del retirado de las trampas en el aparato de factor de compactación

- 7) Una vez que el concreto cayó al cilindro inferior se procedió desajustar las tuercas de fijación y retirar el cilindro.



Figura 96: Retirado del sistema de fijación de la briqueta inferior del aparato de factor de compactación



- 8) Seguidamente se retiró el exceso de concreto que quedó por encima del nivel de la parte superior del cilindro, con ayuda de la varilla enrasadora dejando una superficie plana. Finalmente se limpió los restos de concreto que existieron en el exterior del cilindro.

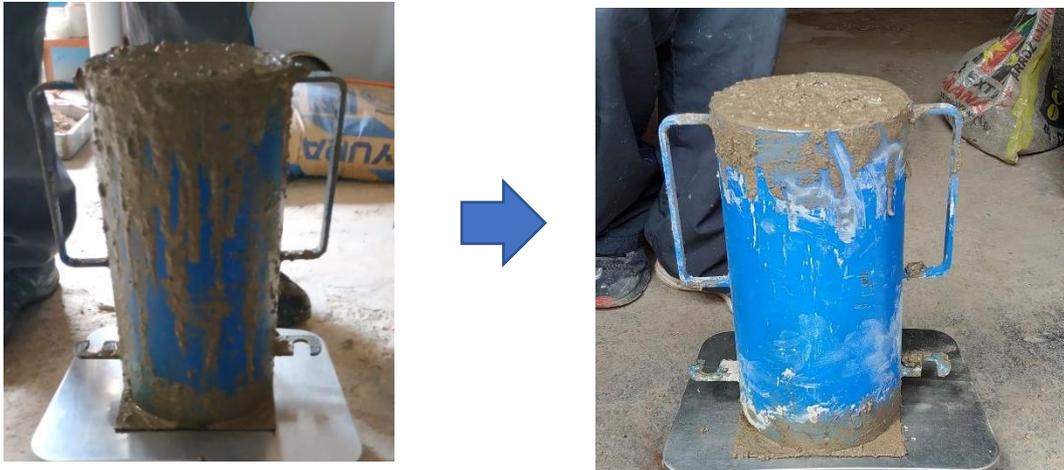


Figura 97: Procedimiento de eliminación del exceso de mezcla de concreto en la briqueta

- 9) Se registró el peso del concreto parcialmente compactado (W_2) en kg.

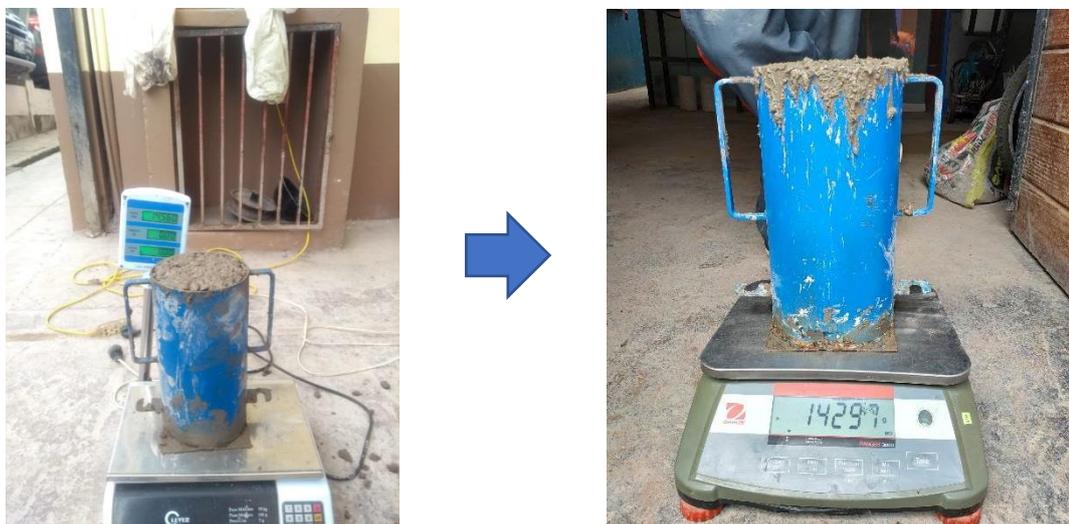


Figura 98: Registro del peso parcialmente compactado

- 10) Se procedió a vaciar el concreto parcialmente compactado del cilindro y se volvió a llenarlo con concreto de la misma muestra de tal manera que se elimine la mayor cantidad de aire atrapado posible (sin reducir significativamente la cantidad de arrastre) y para producir una compactación completa del concreto sin segregación



ni lechada excesiva. Para este propósito con la ayuda de la cuchara se colocó el concreto en el cilindro en 3 capas con 25 golpes y se compactó cada capa usando la varilla compactadora.



Figura 99: Proceso de vaciado y varillado de la mezcla de concreto

11) Finalmente se registró el peso del concreto totalmente compactado (W3) en kg.



Figura 100: Registro del peso totalmente compactado



3.5.17.3 Toma de datos

Tabla 76: Hoja de recolección de datos para el ensayo de densidad del concreto patrón
 $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y con aditivo superplastificante al 0.6%

ENSAYO DEL FACTOR DE COMPACTACION PARA EL CONCRETO $F'c=210\text{KG/CM}^2$			
MUESTRA	W1: PESO DEL CILINDRO VACIO (KG)	W2: PESO DEL CONCRETO PARCIALMENTE COMPACTADO (KG)	W3: PESO DEL CONCRETO TOTALMENTE COMPACTADO (KG)
N°1	2.98	12.75	14.68
N°2	2.98	13.24	14.96
N°3	2.98	13.05	14.56
N°4	2.98	12.67	14.89
N°5	2.98	12.56	15.07
N°6	2.98	12.52	14.75
N°7	2.98	12.68	14.83
N°8	2.98	12.21	14.62
N°9	2.98	12.34	14.82
N°10	2.98	13.11	14.78

ENSAYO DEL FACTOR DE COMPACTACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6%			
MUESTRA	W1: PESO DEL CILINDRO VACIO (KG)	W2: PESO DEL CONCRETO PARCIALMENTE COMPACTADO (KG)	W3: PESO DEL CONCRETO TOTALMENTE COMPACTADO (KG)
N°1	2.98	13.48	15.45
N°2	2.98	13.88	15.40
N°3	2.98	13.76	15.44
N°4	2.98	13.83	15.37
N°5	2.98	13.62	15.43
N°6	2.98	13.85	15.40
N°7	2.98	13.73	15.49
N°8	2.98	13.53	15.41
N°9	2.98	13.67	15.38
N°10	2.98	13.79	15.42



Tabla 77: Hoja de recolección de datos para el ensayo de densidad del concreto patrón con aditivo superplastificante al 0.8%, 1% y 1.5%

ENSAYO DEL FACTOR DE COMPACTACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8%			
MUESTRA	W1: PESO DEL CILINDRO VACIO (KG)	W2: PESO DEL CONCRETO PARCIALMENTE COMPACTADO (KG)	W3: PESO DEL CONCRETO TOTALMENTE COMPACTADO (KG)
N°1	2.98	14.66	15.93
N°2	2.98	14.95	15.93
N°3	2.98	14.85	15.96
N°4	2.98	14.75	15.92
N°5	2.98	14.76	15.95
N°6	2.98	14.82	15.91
N°7	2.98	14.88	15.94
N°8	2.98	14.92	15.91
N°9	2.98	14.86	15.90
N°10	2.98	14.90	15.89

ENSAYO DEL FACTOR DE COMPACTACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1%			
MUESTRA	W1: PESO DEL CILINDRO VACIO (KG)	W2: PESO DEL CONCRETO PARCIALMENTE COMPACTADO (KG)	W3: PESO DEL CONCRETO TOTALMENTE COMPACTADO (KG)
N°1	2.98	15.297	15.947
N°2	2.98	15.19	15.78
N°3	2.98	15.2	15.86
N°4	2.98	15.36	15.67
N°5	2.98	15.17	15.75
N°6	2.98	15.24	15.82
N°7	2.98	15.16	15.93
N°8	2.98	15.22	15.74
N°9	2.98	15.19	15.81
N°10	2.98	15.31	15.88

METODO DEL FACTOR DE COMPACTACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5%			
MUESTRA	W1: PESO DEL CILINDRO VACIO (KG)	W2: PESO DEL CONCRETO PARCIALMENTE COMPACTADO (KG)	W3: PESO DEL CONCRETO TOTALMENTE COMPACTADO (KG)
N°1	2.98	15.985	16.241
N°2	2.98	15.768	15.81
N°3	2.98	15.782	15.8
N°4	2.98	15.93	15.96
N°5	2.98	15.65	15.73
N°6	2.98	15.86	15.93
N°7	2.98	15.83	15.85
N°8	2.98	15.75	15.81
N°9	2.98	15.96	16.02
N°10	2.98	15.87	15.93



3.6 Procedimiento de análisis de datos

3.6.1 Concreto $f'c = 210\text{kg/cm}^2$

3.6.1.1 Agregado grueso cantera vicho TMN = 3/4"

3.6.1.1.1 Análisis granulométrico del agregado grueso

Tabla 78: Análisis granulométrico del agregado grueso de Vicho

$$\% \text{ RETENIDO} = \text{Peso del material retenido en tamiz} \times 100 / \text{peso de la muestra}$$

$$\% \text{ PASA} = 100 - \% \text{ retenido acumulado}$$

ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO GRUESO POR TAMIZADO MTC E-107-200

PARAMETROS
ASTM C 33

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso Retenido	%Retenido	%Retenido Acumulado	%que pasa	Superior	Inferior
2 pulg	50.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1 1/2pulg	37.500	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1 pulg	25.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
3/4pulg	18.750	84.50	5.63%	5.63%	94.37%	100.00%	90.00%
1/2pulg	12.500	522.50	34.83%	40.46%	59.54%	77.50%	55.00%
3/8pulg	9.375	390.00	25.99%	66.45%	33.55%	55.00%	20.00%
1/4pulg	6.350	325.70	21.71%	88.16%	11.84%	32.50%	10.00%
N°4	4.750	103.50	6.90%	95.06%	4.94%	10.00%	0.00%
N°8	2.360	56.40	3.76%	98.82%	1.18%	5.00%	0.00%
N°16	1.180	14.80	0.99%	99.81%	0.19%	0.00%	0.00%
N°30	0.600	0.80	0.05%	99.86%	0.14%	0.00%	0.00%
N°50	0.300	0.50	0.03%	99.89%	0.11%	0.00%	0.00%
N°100	0.150	0.50	0.03%	99.93%	0.07%	0.00%	0.00%
bandeja	0.075	1.10	0.07%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SUMATORIA TOTAL:		1500.30	100.00%				

Análisis: En la tabla podemos mencionar que el mayor peso retenido se encontró en el tamiz de 1/2" y que la gradación del agregado grueso fue variable.

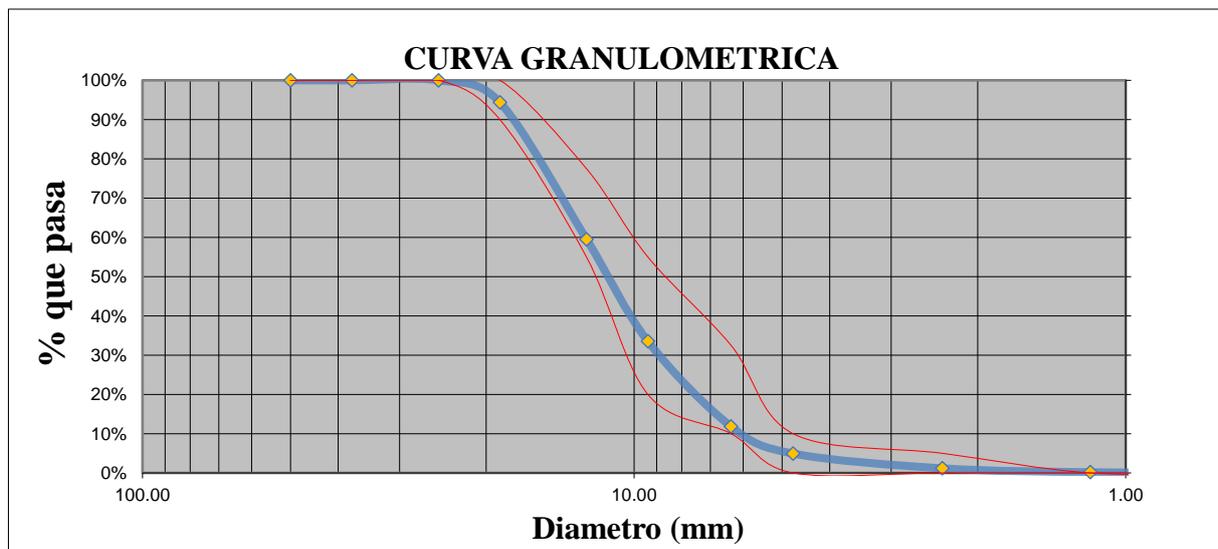


Figura 101: Curva granulométrica del agregado grueso de la cantera Vicho

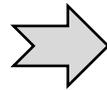


Análisis: En la imagen se observó que la curva granulométrica del agregado grueso se encuentra dentro de los límites establecidos por la ASTM según el tamaño máximo Nominal de nuestro agregado (cantera de Vicho $\frac{3}{4}$ ”), por lo que el agregado se encuentre en óptimas condiciones para el uso adecuado en el diseño de mezclas del concreto.

3.6.1.1.2 Análisis de contenido de humedad

Contenido de humedad del agregado grueso

$$\% \text{ de humedad} = \frac{W_o - W}{W} \times 100$$



W_o = Peso de la muestra, gr
 W = Peso de la muestra seca, gr

$$\%H1 = \frac{118.997 + 117.250}{88.25} \times 100 = 1.98\%$$

$$\%H2 = \frac{113.106 + 111.430}{84.64} \times 100 = 1.98\%$$

$$\%H3 = \frac{118.131 + 116.360}{92.20} \times 100 = 1.92\%$$

$$\text{Promedio de \% humedad} = \frac{1.98 + 1.98 + 1.92}{3} = 1.96\%$$

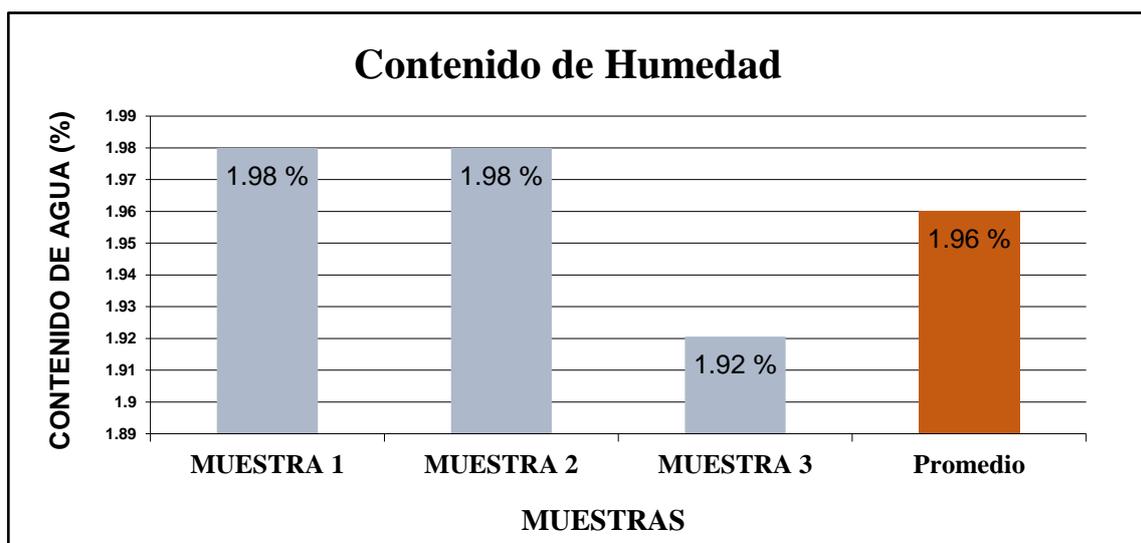


Figura 102: Cuadro de barras del contenido de humedad promedio de agregado grueso de la cantera Vicho

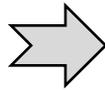


Análisis: Se realizó el ensayo de contenido de humedad para tres muestras de agregado grueso con la intención de obtener un dato más preciso, dando como resultado 1.96% de contenido de humedad.

3.6.1.1.3 Análisis de peso específico y absorción

1) Peso específico de la masa (Pem):

$$P_{em} = \frac{A}{(B - C)}$$



A = Peso de la muestra, gr

B = Peso del picnómetro lleno con agua, gr

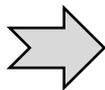
C = Peso del picnómetro con la muestra y agua, gr

$$P_{em} = \frac{844.1}{(854.01 - 523.20)}$$

$$P_{em} = 2.552 \text{ gr/cm}^3$$

2) Peso específico de una masa saturada con superficie seca (Pesss):

$$P_{esss} = \frac{B}{(B - C)}$$



B = Peso del picnómetro lleno con agua, gr

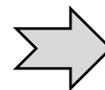
C = Peso del picnómetro con la muestra y agua, gr

$$P_{esss} = \frac{854.01}{(854.01 - 523.20)}$$

$$P_{esss} = 2.582 \text{ gr/cm}^3$$

3) Peso específico aparente (Pea):

$$P_{ea} = \frac{A}{(A - C)}$$



A = Peso de la muestra, gr

C = Peso del picnómetro con la muestra y agua, gr

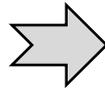
$$P_{ea} = \frac{844.10}{(844.10 - 523.20)}$$

$$P_{ea} = 2.630 \text{ gr/cm}^3$$



4) Absorción (Ab):

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$



A = Peso de la muestra, gr

B = Peso del picnómetro lleno con agua, gr

$$Ab = \frac{854.01 - 844.10}{844.10}$$

$$Ab = 1.174 \%$$

Análisis: Como resultado del peso específico obtenemos 2.552 gr/cm³ y el porcentaje de absorción 1.174% datos de suma importancia en el proceso del diseño de mezclas.

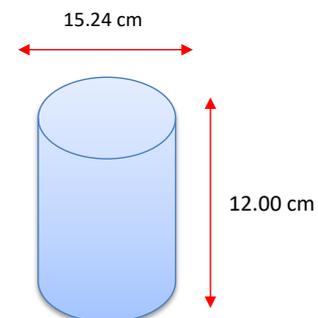
3.6.1.1.4 Análisis de pesos unitarios suelto y compactado

1) Cálculo del volumen del molde.

$$V = \pi r^2 \times h$$

$$V = \pi \times (0.00762)^2 \times 0.120$$

$$V = 0.002189 \text{ m}^3$$

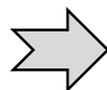


Peso del molde = 5770 gr

2) Cálculo del peso unitario suelto del agregado grueso.

$$PA = PT - PM$$

$$PUS = \frac{PA}{VM}$$



PA = Peso del agregado, kg

PUS = Peso unitario suelto del agregado, kg/m³

PUC = Peso unitario compactado del agregado, kg/m³

PT = Peso del molde + agregado, kg

PM = Peso del molde, kg

VM = Volumen del molde, m³

Esta fórmula es válida para el peso unitario suelto como para el compactado, para obtener valores confiables, se realizan 2 a 3 veces y se promedia.



$$PUS1 = \frac{3228}{0.002189} = 1475 \text{ kg/m}^3$$

$$PUS2 = \frac{3234}{0.002189} = 1477 \text{ kg/m}^3$$

$$PUS3 = \frac{3227}{0.002189} = 1474 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Promedio de los PUS} = \frac{1475 + 1477 + 1474}{3} = 1475.42 \text{ kg/m}^3$$

3) Cálculo del peso unitario compactado del agregado grueso.

$$PUC1 = \frac{3799}{0.002189} = 1736 \text{ kg/m}^3$$

$$PUC2 = \frac{3805}{0.002189} = 1738 \text{ kg/m}^3$$

$$PUC3 = \frac{3802}{0.002189} = 1737 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Promedio de los PUC} = \frac{1736 + 1738 + 1737}{3} = 1736.98 \text{ kg/m}^3$$

4) Cálculo de vacíos peso unitario suelto del agregado grueso.

$$\%Vacios = \frac{100((S \times W) - PUS)}{(S \times W)}$$



PUS = Peso unitario suelto del agregado, kg/m^3

S = Peso específico de masa, gr/cm^3

W = Densidad del agua, kg/m^3

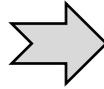
$$\%Vacios = \frac{100 \times ((2552 \times 998) - 1475.42)}{(2552 \times 998)}$$

$$\%Vacios = 99.94 \% \quad \rightarrow \quad \text{A.G. SUELTO}$$



5) Contenido de vacíos peso unitario compactado del agregado grueso.

$$\%Vacios = \frac{100((S \times W) - PUC)}{(S \times W)}$$



PUC = Peso unitario compactado del agregado, kg/m^3

S = Peso específico de masa, gr/cm^3

W = Densidad del agua, kg/m^3

$$\%Vacios = \frac{100 \times ((2552 \times 998) - 1736.98)}{(2552 \times 998)}$$

$$\%Vacios = 99.93 \% \rightarrow \text{A.G. COMPACTADO}$$

Análisis: Se realizó el ensayo de peso unitario suelto como compactado para tres muestras de agregado grueso con la finalidad de tener unos resultados más precisos y confiables, se observó que la variación de resultados no presentaba una gran dispersión, por lo que los resultados de peso unitario de suelto de 1475.42 kg/m^3 y peso unitario compactado 1736.98 kg/m^3 se consideró correctos.

3.6.1.1.5 Análisis de resistencia a la abrasión o desgaste de agregado grueso

RECOLECCION DE DATOS:			
DATOS:	DESCRIPCION	CANTIDAD	UND
Pi	Peso inicial de la muestra	5000.30	gr
Pf	Peso final de la muestra despues de pasada la malla N° 12	4245.00	gr

$$\%Desgaste = \frac{Pi - Pf}{Pi} \times 100$$

$$\%Desgaste = \frac{5000.3 - 4245}{5000.3} \times 100$$

$$\%Desgaste = 15.11 \%$$



Figura 103: Ensayo resistencia a la abrasión del agregado grueso de la cantera Vicho

Análisis: Del análisis de datos de resistencia a la abrasión del agregado grueso obtuvimos un 15% de desgaste del material lo que nos indica que es un material óptimo para explotación en canteras y su uso en la elaboración del concreto.

3.6.1.2 Agregado fino de la cantera Cunyac (50%) y de la cantera de Huambutio (50%)

3.6.1.2.1 Análisis granulométrico del agregado fino de la cantera de Huambutio

Tabla 79: Análisis granulométrico del agregado fino de Huambutio

$$\% \text{ RETENIDO} = \frac{\text{Peso del material retenido en tamiz} \times 100}{\text{peso de la muestra}}$$

$$\% \text{ PASA} = 100 - \% \text{ retenido acumulado}$$

Tamiz Nº	Diam.(mm)	Peso Retenido	%Retenido	%Retenido Acumulado	%que pasa	Superior	Inferior
3/8 pulg	9.375	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1/4 pulg	6.350	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
4	4.750	63.20	9.24%	9.24%	90.76%	100.00%	95.00%
8	2.360	164.50	24.06%	33.30%	66.70%	100.00%	80.00%
16	1.180	156.00	22.82%	56.12%	43.88%	85.00%	50.00%
30	0.600	143.60	21.00%	77.12%	22.88%	60.00%	25.00%
50	0.300	93.20	13.63%	90.76%	9.24%	30.00%	10.00%
100	0.150	39.30	5.75%	96.50%	3.50%	10.00%	2.00%
bandeja	0.075	23.90	3.50%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	SUMATORIA =	683.70	100.00%				

Análisis: En la tabla se concluyó que el mayor peso retenido se encuentra en el tamiz N°8 y que la gradación del agregado fino de Huambutio no cumple con la norma.

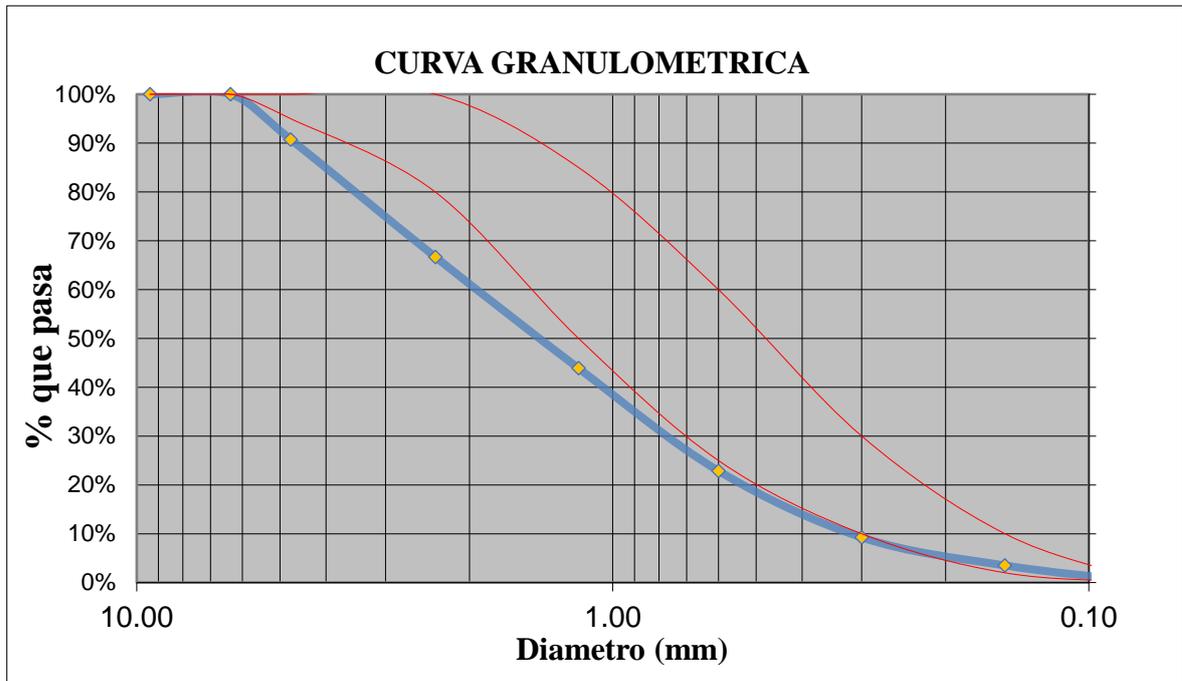


Figura 104: Curva granulométrica del agregado fino de la cantera Huambutio

$$MF = \frac{\sum \%Acumulados\ retenidos(1\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{3}{8}, N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

$$MF = \frac{0.00 + 9.24 + 33.30 + 56.12 + 77.12 + 90.76 + 96.50}{100}$$

$MF = 3.63$ → Arena gruesa

Nota: Aumentar arena fina.

Rango M.F	
2,35	> 3,15
2	Arena Fina
2,5	Arena Mediana
3	Arena Gruesa

Análisis: En la imagen observamos que la curva granulométrica del agregado fino de Huambutio para los tamices N°4, N°8, N°16, N°30 y N°50 no se encuentran dentro de los límites establecidos por la NTP 400.037 entonces el agregado no encuentra en óptimas condiciones para el uso adecuado en el diseño de mezclas del concreto por la presencia o contenido de más grueso que finos. Finalmente se determinó que el módulo de fineza correspondiente al agregado fino de la cantera Huambutio es de 3.63, por lo que se describió como una arena gruesa según el rango establecido en la NTP 400.037. Por lo que se evaluó combinar la el agregado fino de Huambutio con una arena con presencia de más finos hasta encontrar una gradación adecuado para el diseño de mezclas.



3.6.1.2.2 Análisis granulométrico del agregado fino de la cantera de Cunyac

Tabla 80: Análisis granulométrico del agregado fino de Cunyac

$$\% \text{ RETENIDO} = \text{Peso del material retenido en tamiz} \times 100 / \text{peso de la muestra}$$

$$\% \text{ PASA} = 100 - \% \text{ retenido acumulado}$$

Tamiz Nº	Diam.(mm)	Peso Retenido	%Retenido	%Retenido Acumulado	%que pasa	Superior	Inferior
3/8 pulg	9.375	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1/4 pulg	6.350	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
4	4.750	0.80	0.16%	0.16%	99.84%	100.00%	95.00%
8	2.360	1.80	0.36%	0.52%	99.48%	100.00%	80.00%
16	1.180	11.70	2.35%	2.87%	97.13%	85.00%	50.00%
30	0.600	148.20	29.71%	32.57%	67.43%	60.00%	25.00%
50	0.300	225.40	45.18%	77.75%	22.25%	30.00%	10.00%
100	0.150	91.80	18.40%	96.15%	3.85%	10.00%	2.00%
bandeja	0.075	19.20	3.85%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SUMATORIA =		498.90	100.00%				

Análisis: En la tabla podemos mencionar que el mayor peso retenido se encuentra en el tamiz N°50 y que la gradación del agregado fino de Huambutio no cumple con la norma.

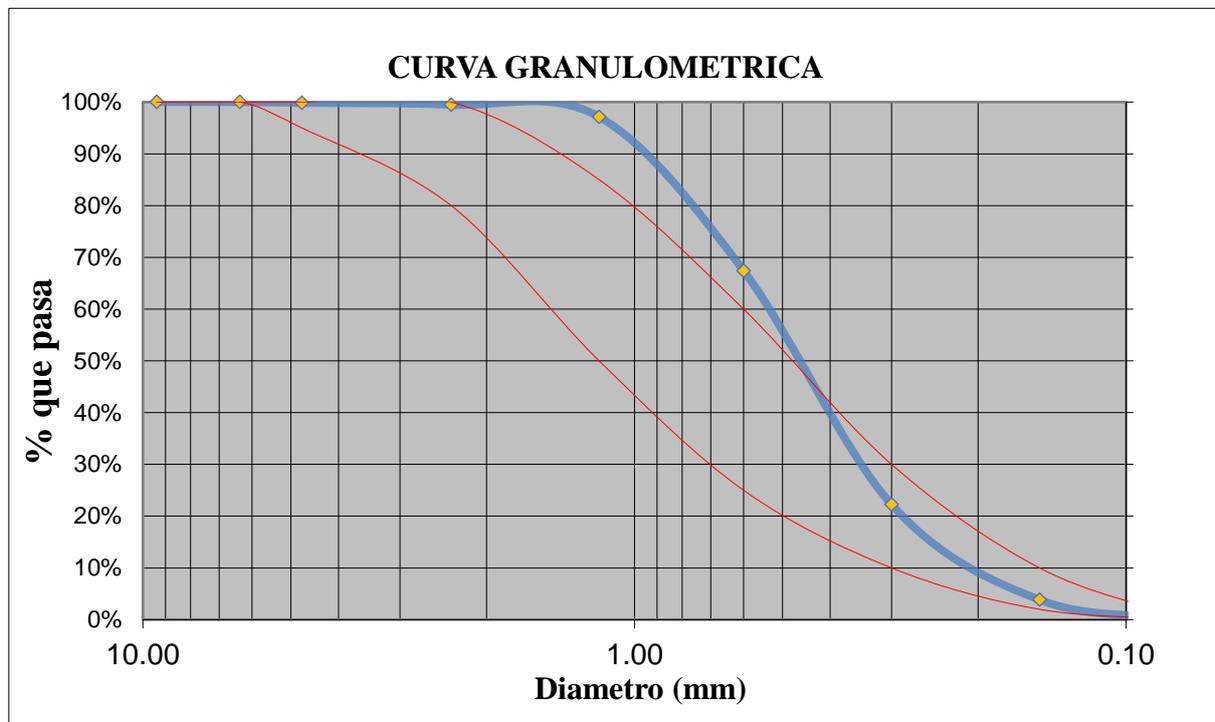


Figura 105: Curva granulométrica del agregado fino de la cantera Cunyac



$$MF = \frac{\sum \%Acumulados\ retenidos(1\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{3}{8}, N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

$$MF = \frac{0.00 + 0.16 + 0.52 + 2.87 + 32.57 + 77.75 + 96.15}{100}$$

MF = 2.10 → Arena fina

Nota: Aumentar arena gruesa.

Rango M.F	
2,35	> 3,15
2	Arena Fina
2,5	Arena Mediana
3	Arena Gruesa

Análisis: En la imagen observamos que la curva granulométrica del agregado fino de Huambutio para los tamices N°4, N°8, N°16, no se encuentran dentro de los límites establecidos por la NTP 400.037, entonces el agregado no encuentra en óptimas condiciones para el uso adecuado en el diseño de mezclas del concreto por la presencia o contenido de más finos. Finalmente se determinó que el módulo de fineza correspondiente al agregado fino de la cantera Cunyac es de 2.1 lo que describe la presencia de una arena fina según el rango establecido en la NTP 400.037 tipo de arena según su módulo de fineza, por ende, se aconsejó combinar el agregado fino de la cantera de Cunyac con una arena más gruesa hasta conseguir una gradación óptima que cumpla con lo establecido en la NTP 400.012 y así usarse en el diseño de mezclas.

3.6.1.2.3 Análisis granulométrico combinado del agregado fino de la cantera de Huambutio (50%) y la cantera de Cunyac (50%)

Tabla 81: Relación de pesos combinados de los agregados finos de Huambutio y Cunyac.

AGREGADO FINO		HUAMBUTIO	CUNYAC
PESO TOTAL:		683.70 gr	498.90 gr
RELACION:		0.729706	1
PORCENTAJE:		50%	50%
TAMIZ	DIAMETRO	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO
N°	(mm)	(gr)	(gr)
3/8"	9.375	0.00	0.00
1/4"	6.35	0.00	0.00
N°4	4.75	23.06	0.40
N°8	2.36	60.02	0.90
N°16	1.18	56.92	5.85
N°30	0.6	52.39	74.10
N°50	0.3	34.00	112.70
N°100	0.15	14.34	45.90
N°200	0.075	8.72	9.60
SUMA:		249.45	249.45



Tabla 82: Análisis granulométrico del agregado fino combinado (Huambutio 50% + Cunyac 50%)

$$\% \text{ RETENIDO} = \text{Peso del material retenido en tamiz} \times 100 / \text{peso de la muestra}$$

$$\% \text{ PASA} = 100 - \% \text{ retenido acumulado}$$

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso Retenido	%Retenido	%Retenido Acumulado	%que pasa	Superior	Inferior
3/8 pulg	9.375	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1/4 pulg	6.350	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
4	4.750	23.46	4.70%	4.70%	95.30%	100.00%	95.00%
8	2.360	60.92	12.21%	16.91%	83.09%	100.00%	80.00%
16	1.180	62.77	12.58%	29.49%	70.51%	85.00%	50.00%
30	0.600	126.49	25.35%	54.85%	45.15%	60.00%	25.00%
50	0.300	146.70	29.41%	84.25%	15.75%	30.00%	10.00%
100	0.150	60.24	12.07%	96.33%	3.67%	10.00%	2.00%
bandeja	0.075	18.32	3.67%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SUMATORIA =		498.90	100.00%				

Análisis: En la tabla 79 podemos mencionar que al combinar las canteras de Huambutio y Cunyac obtenemos un mayor peso retenido en el tamiz N°50 y una gradación mucho más uniforme la correspondiente para un buen diseño de mezclas.

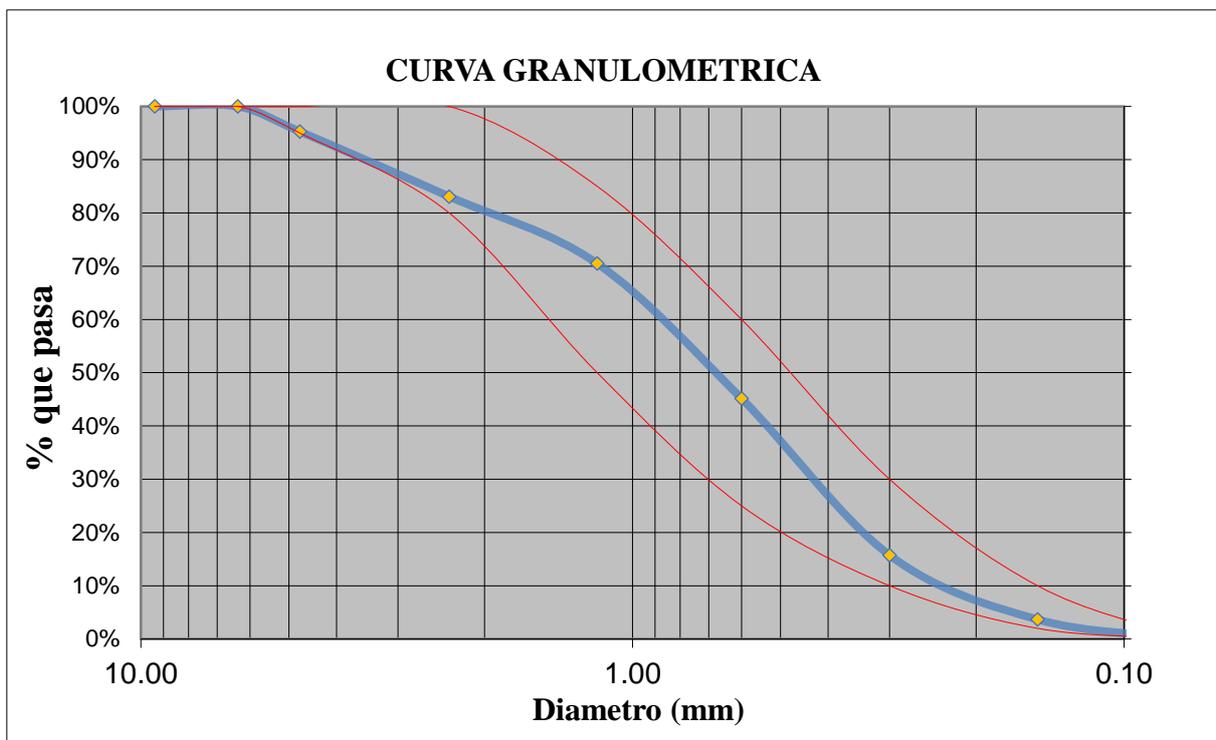


Figura 106: Curva granulométrica del agregado fino (Cunyac + Huambutio)



$$MF = \frac{\sum \%Acumulados\ retenidos(1\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{3}{8}, N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

$$MF = \frac{0.00 + 4.70 + 16.91 + 29.49 + 54.85 + 84.25 + 96.33}{100}$$

MF = 2.87 → Arena fina

Nota: Arena óptima para el diseño de mezclas.

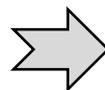
Rango M.F	
2,35	> 3,15
2	Arena Fina
2,5	Arena Mediana
3	Arena Gruesa

Análisis: En la imagen observamos que la curva granulométrica de la combinación de los agregados finos de las canteras de Huambutio al 50% y Cunyac al 50%, se encuentran dentro de los límites establecidos por la NTP 400.037 por lo tanto el agregado fue óptimo para su uso adecuado en el diseño de mezclas del concreto patrón por presencia de una gradación mucho más uniforme. Finalmente se determinó que el módulo de fineza correspondiente al agregado fino combinado es de 2.87 lo que describe la presencia de una arena media según el rango establecido en la NTP 400.037 tipo de arena según su módulo de fineza, por consiguiente, cumple con lo establecido en la NTP 400.012 y se aconseja siempre buscar la forma de cumplir con los parámetros establecidos para poder obtener diseños excelentes del concreto de alta resistencia.

3.6.1.2.4 Porcentaje de humedad del agregado fino de la cantera Huambutio (50%) y de la cantera de Cunyac (50%)

Contenido de humedad del agregado fino

$$\% \text{ de humedad} = \frac{W_o - W}{W} \times 100$$



W_o = Peso de la muestra, gr
 W = Peso de la muestra seca, gr

$$\%H1 = \frac{113.698 + 110.450}{80.60} \times 100 = 4.03\%$$



$$\%H2 = \frac{127.566 + 123.720}{95.67} \times 100 = 4.02\%$$

$$\%H3 = \frac{114.189 + 110.710}{85.92} \times 100 = 4.05\%$$

$$\text{Promedio de \% humedad} = \frac{4.03 + 4.02 + 4.05}{3} = 4.03\%$$

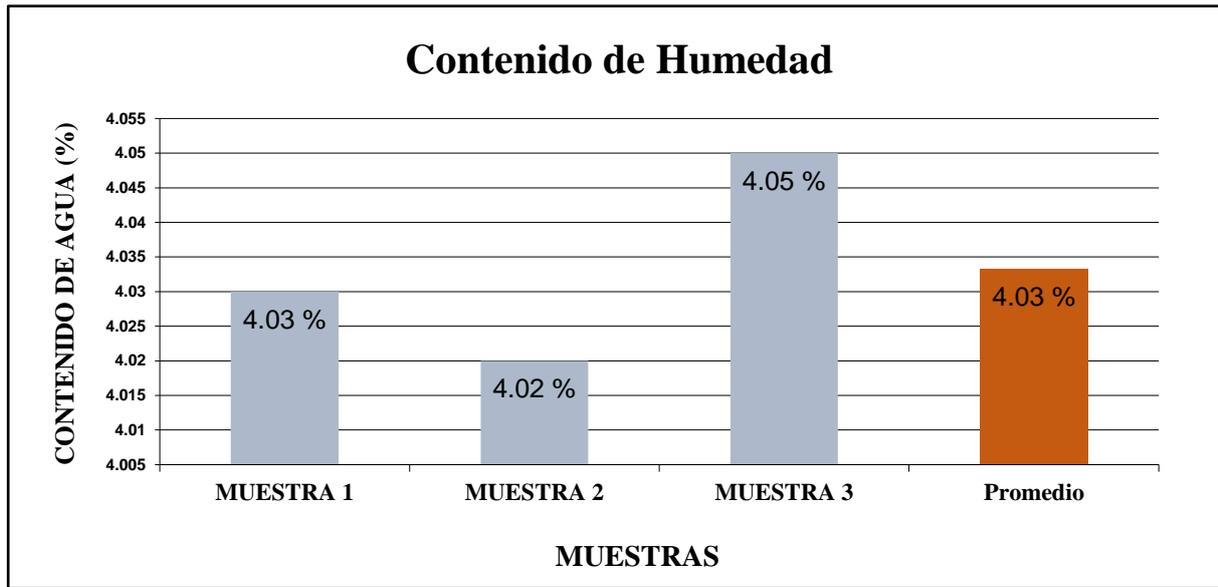


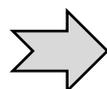
Figura 107: Cuadro del contenido de humedad promedio de agregado fino (Cunyac y Huambutio)

Análisis: Se realizó el ensayo de contenido de humedad para tres muestras de agregado fino combinado con la intención de obtener un dato más preciso, dando como resultado 4.03 % de contenido de humedad.

3.6.1.2.5 Análisis de peso específico y absorción del agregado fino de la cantera Huambutio (50%) y de la cantera de Cunyac (50%)

1) Peso específico de la masa (Pem):

$$P_{em} = \frac{A}{(B + S - C)}$$



A = Peso de la muestra seca en el horno, gr

B = Peso del picnómetro lleno con agua, gr

C = Peso del picnómetro con la muestra y agua, gr

S = Peso de la muestra saturada y superficialmente seca, gr

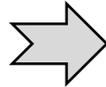


$$P_{em} = \frac{116}{(718.40 + 120 - 793.34)}$$

$$P_{em} = 2.574 \text{ gr/cm}^3$$

2) Peso específico de una masa saturada con superficie seca (P_{esss}):

$$P_{esss} = \frac{S}{(B + S - C)}$$



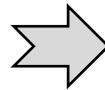
B = Peso del picnómetro lleno con agua, gr
 C = Peso del picnómetro con la muestra y agua, gr
 S = Peso de la muestra saturada y superficialmente seca, gr

$$P_{esss} = \frac{120}{(718.40 + 120 - 793.34)}$$

$$P_{esss} = 2.663 \text{ gr/cm}^3$$

3) Peso específico aparente (P_{ea}):

$$P_{ea} = \frac{A}{(B + A - C)}$$



A = Peso de la muestra seca en el horno, gr
 B = Peso del picnómetro lleno con agua, gr
 C = Peso del picnómetro con la muestra y agua, gr

$$P_{ea} = \frac{116}{(718.40 + 116 - 793.34)}$$

$$P_{ea} = 2.825 \text{ gr/cm}^3$$

4) Absorción (Ab):

$$Ab = \frac{S - A}{A} \times 100$$



A = Peso de la muestra seca en el horno, gr
 S = Peso de la muestra saturada y superficialmente

$$Ab = \frac{120 - 116}{116} \times 100$$

$$Ab = 3.448 \%$$



Análisis: Como resultado del peso específico obtuvimos 2.574 gr/cm³ y el porcentaje de absorción 3.448% datos de suma importancia en el proceso del diseño de mezclas.

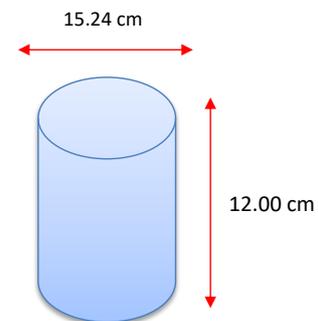
3.6.1.2.6 Análisis de pesos unitarios de la cantera Huambutio (50%) y de la cantera de Cunyac (50%)

1) Cálculo del volumen del molde.

$$V = \pi r^2 \times h$$

$$V = \pi \times (0.00762)^2 \times 0.120$$

$$V = 0.002189 \text{ m}^3$$



Peso del molde = 5770 gr

2) Cálculo del peso unitario suelto del agregado fino.

$$PA = PT - PM$$

$$PUS = \frac{PA}{VM}$$

Esta fórmula es válida para el peso unitario suelto como para el compactado, para obtener valores confiables, se realizan 2 a 3 veces y se promedia.

PA = Peso del agregado, kg
PUS = Peso unitario suelto del agregado, kg/m³
PUC = Peso unitario compactado del agregado, kg/m³
PT = Peso del molde + agregado, kg
PM = Peso del molde, kg
VM = Volumen del molde, m³

$$PUS1 = \frac{2985}{0.002189} = 1364 \text{ kg/m}^3$$

$$PUS2 = \frac{2988}{0.002189} = 1365 \text{ kg/m}^3$$

$$PUS3 = \frac{2981}{0.002189} = 1362 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Promedio de los PUS} = \frac{1364 + 1365 + 1362}{3} = 1363.50 \text{ kg/m}^3$$



3) **Cálculo del peso unitario compactado del agregado fino.**

$$PUC1 = \frac{3308.2}{0.002189} = 1511 \text{ kg/m}^3$$

$$PUC2 = \frac{3312}{0.002189} = 1513 \text{ kg/m}^3$$

$$PUC3 = \frac{3309}{0.002189} = 1512 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Promedio de los PUC} = \frac{1511 + 1513 + 1512}{3} = 1512 \text{ kg/m}^3$$

4) **Cálculo de vacíos peso unitario suelto del agregado fino.**

$$\%Vacios = \frac{100((S \times W) - PUS)}{(S \times W)}$$



PUS = Peso unitario suelto del agregado, kg/m^3

S = Peso específico de masa, gr/cm^3

W = Densidad del agua, kg/m^3

$$\%Vacios = \frac{100 \times ((2574 \times 998) - 1363.50)}{(2574 \times 998)}$$

$$\%Vacios = 99.95 \% \rightarrow \text{A.F. SUELTO}$$

5) **Contenido de vacíos peso unitario compactado del agregado fino.**

$$\%Vacios = \frac{100((S \times W) - PUC)}{(S \times W)}$$



PUC = Peso unitario compactado del agregado, kg/m^3

S = Peso específico de masa, gr/cm^3

W = Densidad del agua, kg/m^3

$$\%Vacios = \frac{100 \times ((2574 \times 998) - 1512)}{(2574 \times 998)}$$

$$\%Vacios = 99.94 \% \rightarrow \text{A.F. COMPACTADO}$$

Análisis: Se realizó el ensayo de peso unitario tanto suelto como compactado para tres muestras de agregado fino combinado, con el fin de tener unos resultados más precisos y confiables, pudiendo observar que la variación de resultados no presentaba una gran dispersión, por lo tanto, los resultados de peso unitario de suelto de 1363.50 kg/m³ y peso unitario compactado 1512.00 kg/m³ se consideran correctos.

3.6.2 Diseño de mezclas del concreto patrón según la norma ACI

3.6.2.1 Datos de los materiales

1) Datos del cemento:

Marca	YURA
Tipo	IP
Peso Especifico	2.85 gr/cm³

Análisis: En la figura 108 se observa las características técnicas del cemento portland tipo IP de la marca Yura, en la parte de requisitos técnicos se menciona el peso específico del material de alrededor 2.77 a 2.85 gr/cm³, pero tomando como recomendación un valor de 2.85 gr/cm³ para el diseño de mezclas del concreto patrón a realizar.

REQUISITOS	CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP	REQUISITOS NORMA NTP 334.090 ASTM C-595
REQUISITOS QUÍMICOS		
MgO (%)	1.5 a 2.4	6.00 Máx.
SO ₃ (%)	1.5 a 2.3	4.00 Máx.
Pérdida por ignición (%)	1.5 a 3.8	5.00 Máx.
REQUISITOS FÍSICOS		
Peso específico (gr/cm ³)	2.77 a 2.85	-
Expansión en autoclave (%)	-0.05 a 0.03	-0.20 a 0.80
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170 a 270	45 a 420
Contenido de aire	2.5 a 8.0	12 Máx.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Kgf/cm² MPa	Kgf/cm² MPa
1 día	80 a 104 7.8 a 10.2	- -
3 días	175 a 200 17.1 a 19.6	133 Mín. 13
7 días	225 a 260 22.0 a 25.4	204 Mín. 20
28 días	306 a 350 30.0 a 34.3	255 Mín. 25
RESISTENCIA A LOS SULFATOS	%	%
% Expansión a los 6 meses	< 0.021%	0.05 Máx
% Expansión a 1 año	< 0.023%	0.10 Máx

Figura 108: Características técnicas del cemento Yura tipo IP

Fuente: <https://www.yura.com.pe/productos>



2) Datos del agregado grueso:

Tabla 83: Características necesarias del agregado grueso para el diseño de mezclas

CARACTERISTICA\AGREGADO	GRUESO
Perfil	ANGULAR
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1475.42 kg/m ³
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1736.98 kg/m ³
Peso especifico (kg/m ³)	2552.00 kg/m ³
Modulo de fineza	6.65 kg/m ³
Tamaño Maximo Nominal	3/4"
% Absorción	1.17 %
% de Humedad (w)	1.96 %

Tamaño máximo nominal: ¾". Para la elegir el tamaño máximo nominal del agregado grueso depende bastante el tamaño de la estructura que se va a vaciar. Por ejemplo, si vamos a llenar una columna delgada, usaremos piedra pequeña (1/2"), pero si necesitamos armar una zapata, lo recomendable es emplear una piedra más grande 1". (<http://www.acerosarequipa.com/manual-para-propietarios/materiales-de-construccion/piedra-chancada.html>)

En nuestro caso el concreto va dirigido a cimentaciones, vigas de cimentación, muros de contención, columnas de una sección rectangular o circular de gran magnitos o el uso placas, por tal motivo escogemos un agregado grueso de ¾" el cual se rige bajo los parámetros indicados en la NTP 400.037.

3) Datos del Agregado Fino:

Tabla 84: Características necesarias del agregado grueso para el diseño de mezclas

CARACTERISTICA\AGREGADO	FINO
Perfil	-
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1363.50 kg/m ³
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1512.00 kg/m ³
Peso especifico (kg/m ³)	2574.00 kg/m ³
Modulo de fineza	2.87
Tamaño Maximo Nominal	-
% Absorción	3.45 %
% de Humedad (w)	4.03 %



4) Datos del agua:

- Peso específico:

Pe	1000 kg/m³
-----------	------------------------------

- Agua potable distribuida por Seda Cusco.

5) Datos del concreto:

Resistencia a la Compresión F'c	210 kg/cm²
Slump	3 Pulg
Aire incorporado	NO

Análisis: Para elegir la consistencia de nuestra mezcla patrón recurrimos a la tabla 83 para poder expresarla en función al asentamiento requerido para el tipo de estructura que nos dirigimos en la presente tesis de investigación. Se eligió estudiar los concretos de una consistencia seca con un asentamiento de 3” para estructuras de cimentación con el fin de compararlo con un concreto alterado con un aditivo superplastificante.

Tabla 85: Cuadro de asentamientos recomendados para distintos tipos de estructuras

Tipo de Estructura	Slump Máximo	Slump Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	3”	1”
Cimentaciones simples y calzaduras	3”	1”
Vigas y muros armados	4”	1”
Columnas	4”	2”
Muros y pavimentos	3”	1”
Concreto ciclópeo	2”	1”

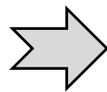
Fuente: ACI 211.1



3.6.2.2 Cálculo f'_{cr} (resistencia promedio requerida)

Como no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra y no se cuenta con un registro de resultados de ensayos que posibilite el cálculo de la desviación estándar se hizo uso del siguiente cuadro según NTP E.060 (Tabla 5.3).

$f'_c =$	210 kg/cm ²	←
F'_c	$F_{c'r}$	
$f'_c < 210$	$f'_{cr} = f'_c + 70$	
$210 \leq f'_c \leq 350$	$f'_{cr} = f'_c + 85$	
$f'_c > 350$	$f'_{cr} = 1.1f'_c + 50$	←



Por lo tanto, la resistencia promedio es:

$$F'_{cr} = 210 \text{ kg/cm}^2 + 85$$

$$F'_{cr} = 295 \text{ kg/cm}^2$$

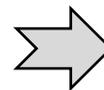
Análisis: En nuestro caso para el diseño de mezclas se desconoce el f'_c , por lo que mediante la tabla incrementamos el F'_c 210 kg/cm² de estudio a 295 kg/cm² para un mejor cálculo.

3.6.2.3 Contenido de aire

Tamaño Máximo Nominal	3/4"
-----------------------	------

Tabla 86: Selección del contenido de aire atrapado

Tamaño Máximo Nominal del Agregado grueso.	Aire atrapado
3/8 "	3.0 %
1/2 "	2.5 %
3/4 "	2.0 %
1 "	1.5 %
1 1/2 "	1.0 %
2 "	0.5 %
3 "	0.3 %
4 "	0.2 %



Aire = 2.0 %

Fuente: ACI 211.1

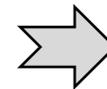


3.6.2.4 Contenido de agua

Tmax Nominal	3/4"
SLUMP	3 pulg

Tabla 87: Selección de volumen unitario de agua

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA								
Agua en l/m ³ , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicada.								
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	----
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	----



Agua = 205 Lt/m³

Fuente: ACI 211 tabla n°1 volumen de agua por m³

3.6.2.5 Cálculo de la relación agua/cemento (por resistencia f'cr)

f'cr=	295 kg/cm ²
-------	------------------------

Tabla 88: Selección de relación agua/cemento

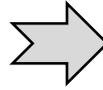
f'cr (Kg/cm ²)	Relación agua/cemento en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	
450	0.38	

Fuente: ACI 211 tabla n°5 relación agua/cemento por resistencia.



Interpolación:

$$\begin{array}{l} 250 \longleftrightarrow 0.62 \\ 295 \longleftrightarrow X \\ 300 \longleftrightarrow 0.55 \end{array}$$



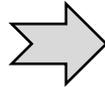
$$\frac{300 - 295}{0.55 - X} = \frac{300 - 250}{0.55 - 0.62}$$

$$\frac{5}{0.55 - X} = \frac{50}{-0.07}$$

$$X = 0.56 \text{ a/c}$$

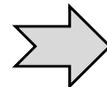
3.6.2.6 Cálculo de contenido de cemento

$$\frac{205}{C} = 0.557$$



$$C = 368.04 \text{ kg}$$

$$\text{Factor cemento} = \frac{368.043}{42.5}$$



$$FC = 8.66 \text{ bls}$$

3.6.2.7 Peso del agregado grueso

Tabla 89: Selección del peso del agregado

PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO				
Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino. (b / b _o)				
Tamaño máximo nominal del agregado grueso.	2.40	2.60	2.80	3.00
3 / 8 "	0.50	0.48	0.46	0.44
1 / 2 "	0.59	0.57	0.55	0.53
3 / 4 "	0.66	0.64	0.62	0.60
1 "	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1 / 2 "	0.76	0.74	0.72	0.70
2 "	0.78	0.76	0.74	0.72
3 "	0.81	0.79	0.77	0.75
6 "	0.87	0.85	0.83	0.81

M.F. DE
A. FINO

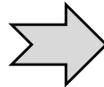
Fuente: ACI 211.1



Interpolación:

$$\text{Peso del A. G.} = \frac{b}{b_0} \times \text{Peso unitario compactado del A. G.}$$

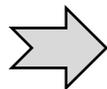
$$\begin{array}{l} 280 \leftarrow \longrightarrow 0.62 \\ 287 \leftarrow \longrightarrow X \\ 3 \leftarrow \longrightarrow 0.60 \end{array}$$



$$\frac{3 - 2.87}{0.6 - X} = \frac{3 - 2.8}{0.6 - 0.62}$$

$$\frac{0.130}{0.600 - X} = \frac{0.200}{-0.020}$$

$$X = 0.61 \text{ b/b}_0$$



$$\text{Peso A. G.} = 0.613 \text{ m}^3 \times 1736.980 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso A. G.} = 1064.77 \text{ kg}$$

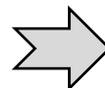
3.6.2.8 Volumen absoluto de la pasta

$$\text{Cemento} = \frac{368.04}{2.85 \times 1000} = 0.129 \text{ m}^3$$

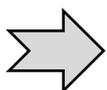
$$\text{Agua} = \frac{205}{1000} = 0.205 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = \frac{2}{100} = 0.020 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen A. G.} = \frac{1064.77}{2552} = 0.417 \text{ m}^3$$



$$\Sigma = 0.77 \text{ m}^3$$



$$\text{Volumen A. F.} = 1 - 0.771$$

$$\text{Volumen A. F.} = 0.23 \text{ m}^3$$



3.6.2.9 Presentación del diseño en estado seco

Cemento	368.04 kg
Agregado Fino	588.50 kg
Agregado Grueso	1064.77 kg
Agua	205 Lt

3.6.2.10 Corrección por humedad de los agregados

$$\text{Peso seco} \times \left(\frac{W\%}{100} + 1 \right)$$

$$\Rightarrow \text{Agregado fino} = 588.50 \times \left(\frac{4.030}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Agregado fino} = 612.22 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow \text{Agregado grueso} = 1064.77 \times \left(\frac{1.960}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Agregado grueso} = 1085.64 \text{ kg}$$

3.6.2.11 Aporte de agua a la mezcla corrección por humedad

$$\frac{(\%w - \%abs) \times \text{Agregado seco}}{100}$$

$$\Rightarrow \text{Agregado fino} = \frac{(4.030 - 3.448) \times 588.50}{100}$$

$$\text{Agregado fino} = 3.43 \text{ Lt}$$

$$\Rightarrow \Sigma = 11.79 \text{ Lt}$$

$$\Rightarrow \text{Agregado grueso} = \frac{(1.96 - 1.174) \times 1064.77}{100}$$

$$\text{Agregado grueso} = 8.37 \text{ Lt}$$



3.6.2.12 Agua efectiva

$$Agua = 205 - 11.794$$

$$Agua = 193.206 \text{ Lt}$$

3.6.2.13 Dosificación final para 1 m³ de concreto patrón

CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	AGUA
368.04 kg	612.22 kg	1085.64 kg	193.21 lt

3.6.3 Segregación del concreto utilizando la técnica de la columna

a) Procesamiento y cálculos de la prueba:

$$S = 2 \left[\frac{(CA_B - CA_T)}{(CA_B + CA_T)} \right] \times 100$$



SCuando $CA_B \geq CA_T$

$$S = 0$$



SCuando $CA_B \leq CA_T$

Donde:

S = Porcentaje de Segregación estática, %.

CA_B = Peso retenido inferior, kg.

CA_T = Peso retenido superior, kg.

RANGOS PARA LA SEGREGACION

$$0\% < S < 6\%$$



b) Tablas:

Tabla 90: Resultados del ensayo de segregación para el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$

ENSAYO DE FACTOR DE SEGREGACION ESTATICA				
CONCRETO $f'c=210\text{KG/CM}^2$				
MUESTRA	PESO RETENIDO SUPERIOR (kg)	PESO RETENIDO INFERIOR (kg)	SEGREGACION ESTATICA DEL CONCRETO (%)	PROMEDIO (%)
N°1	5.03	5.33	5.79	5.95
N°2	5.10	5.42	6.08	
N°3	5.06	5.37	5.94	
N°4	5.12	5.44	6.06	
N°5	5.05	5.35	5.77	
N°6	5.13	5.45	6.05	
N°7	5.06	5.37	5.94	
N°8	5.10	5.40	5.71	
N°9	5.15	5.48	6.21	
N°10	5.07	5.38	5.93	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	5.71
MAYOR VALOR:	6.21
RANGO:	0.49
DESVIACION ESTANDAR:	0.16
COEF. VARIACION:	3%

Tabla 91: Resultados del ensayo de segregación para el concreto con aditivo superplastificante al 0.6%

ENSAYO DE FACTOR DE SEGREGACION ESTATICA				
CONCRETO $f'c=210\text{KG/CM}^2$ + ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE AL 0.6%				
MUESTRA	PESO RETENIDO SUPERIOR (kg)	PESO RETENIDO INFERIOR (kg)	SEGREGACION ESTATICA DEL CONCRETO (%)	PROMEDIO (%)
N°1	5.03	5.26	4.47	4.36
N°2	4.95	5.17	4.35	
N°3	5.07	5.31	4.62	
N°4	5.03	5.26	4.47	
N°5	5.08	5.30	4.24	
N°6	4.96	5.16	3.95	
N°7	5.05	5.28	4.45	
N°8	5.05	5.28	4.45	
N°9	4.97	5.21	4.72	
N°10	5.02	5.22	3.91	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	3.91
MAYOR VALOR:	4.72
RANGO:	0.81
DESVIACION ESTANDAR:	0.26
COEF. VARIACION:	6%



Tabla 92: Resultados del ensayo de segregación para el concreto con aditivo superplastificante al 0.8%

ENSAYO DE FACTOR DE SEGREGACION ESTATICA				
CONCRETO F' C=210KG/CM ² + ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE AL 0.8%				
MUESTRA	PESO RETENIDO SUPERIOR (kg)	PESO RETENIDO INFERIOR (kg)	SEGREGACION ESTATICA DEL CONCRETO (%)	PROMEDIO (%)
N°1	4.85	5.32	9.24	9.72
N°2	4.86	5.37	9.97	
N°3	4.82	5.33	10.05	
N°4	4.75	5.22	9.43	
N°5	4.87	5.36	9.58	
N°6	4.92	5.41	9.49	
N°7	4.78	5.30	10.32	
N°8	4.89	5.40	9.91	
N°9	4.75	5.23	9.62	
N°10	4.78	5.26	9.56	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	9.24
MAYOR VALOR:	10.32
RANGO:	1.07
DESVIACION ESTANDAR:	0.33
COEF. VARIACION:	3%

Tabla 93: Resultados del ensayo de segregación para el concreto con aditivo superplastificante al 1 %

ENSAYO DE FACTOR DE SEGREGACION ESTATICA				
CONCRETO F' C=210KG/CM ² + ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE AL 1%				
MUESTRA	PESO RETENIDO SUPERIOR (kg)	PESO RETENIDO INFERIOR (kg)	SEGREGACION ESTATICA DEL CONCRETO (%)	PROMEDIO (%)
N°1	4.23	5.25	21.52	21.80
N°2	4.55	5.60	20.69	
N°3	4.18	5.30	23.63	
N°4	4.30	5.40	22.68	
N°5	4.26	5.25	20.82	
N°6	4.27	5.30	21.53	
N°7	4.15	5.20	22.46	
N°8	4.22	5.38	24.17	
N°9	4.33	5.32	20.52	
N°10	4.50	5.50	20.00	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	20.00
MAYOR VALOR:	24.17
RANGO:	4.17
DESVIACION ESTANDAR:	1.39
COEF. VARIACION:	6%



Tabla 94: Resultados del ensayo de segregación para el concreto con aditivo superplastificante al 1.5%

ENSAYO DE FACTOR DE SEGREGACION ESTATICA				
CONCRETO F'C=210KG/CM ² + ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE AL 1.5%				
MUESTRA	PESO RETENIDO SUPERIOR (kg)	PESO RETENIDO INFERIOR (kg)	SEGREGACION ESTATICA DEL CONCRETO (%)	PROMEDIO (%)
N°1	3.90	6.70	52.83	54.63
N°2	3.60	6.40	56.00	
N°3	3.70	6.50	54.90	
N°4	3.60	6.21	53.21	
N°5	3.70	6.55	55.61	
N°6	3.80	6.15	47.24	
N°7	3.70	6.23	50.96	
N°8	3.30	6.26	61.92	
N°9	3.40	6.23	58.77	
N°10	3.60	6.32	54.84	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	47.24
MAYOR VALOR:	61.92
RANGO:	14.69
DESVIACION ESTANDAR:	4.04
COEF. VARIACION:	7%

c) Análisis de la prueba:

Tabla 95: Resultado de segregaciones promedio

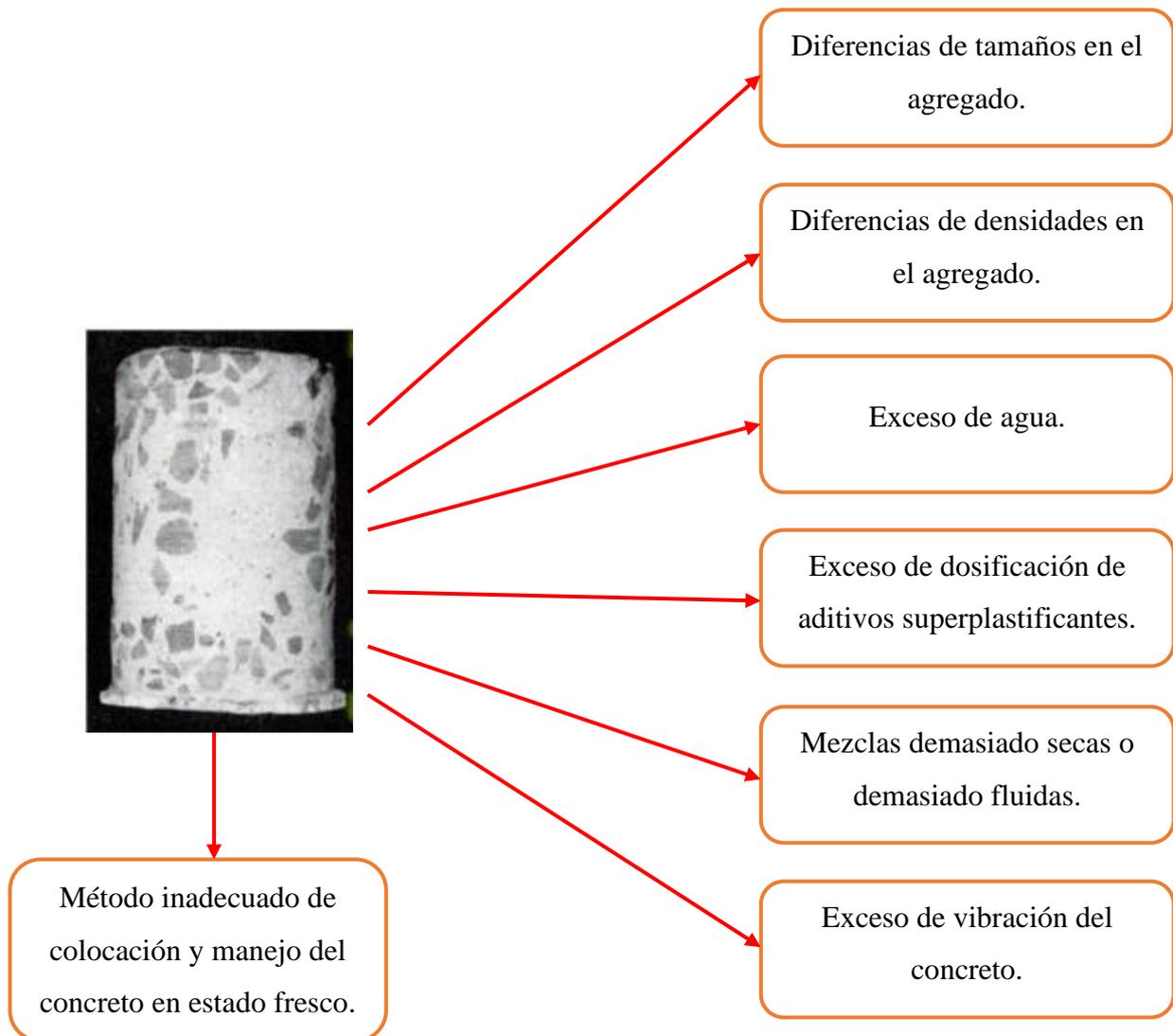
TIPO DE CONCRETO	SEGREGACIÓN DEL CONCRETO (%)
Concreto f'c=210 kg/cm ²	5.95
Concreto + aditivo superplastificante al 0.6%	4.36
Concreto + aditivo superplastificante al 0.8%	9.72
Concreto + aditivo superplastificante al 1%	21.80
Concreto + aditivo superplastificante al 1.5%	54.63

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	4.36 %
MAYOR VALOR:	54.63 %
RANGO:	50.27
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	20.90
COEF. VARIACIÓN:	108 %



Del análisis de los resultados de la prueba se determinó que para el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ se tiene un porcentaje de segregación estática dentro de los rangos recomendados de hasta un 0.6% de aceptación por la tesis de antecedente nacional: *"Influencia del aditivo superplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto, en la ciudad de Huancayo"* y en comparación con el concreto con aditivo superplastificante al 0.6% también con los rangos establecidos por la tesis de antecedente y las dosificaciones con aditivo superplastificante al 0.8%, 1% y 1.5% se observó que incrementa su porcentaje de segregación estática lo cual no se recomienda utilizar las dosificaciones 1% y 1.5% ya que se alejan mucho de lo recomendado.

Del análisis podemos determinar las siguientes causas de segregación:

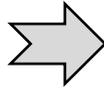




3.6.4 Exudación del concreto

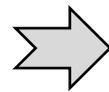
a) Procesamiento y cálculos de la prueba:

$$V = \frac{VT}{A}$$



V= Volumen de exudación por unidad de área superficial, ml
VT= Volumen total acumulado, ml
A= Área expuesta del concreto, cm²

$$C = \frac{WA \times WM}{WT}$$



C= Peso del agua en el espécimen del ensayo, kg
WA= Peso neto del agua en la mezcla, kg
WM= Peso de la muestra, kg
WT= Peso total de la mezcla elaborada, kg

$$E = \left(\frac{VT}{C \times 1000} \right) \times 100$$



E= Cantidad de agua extraída, %
VT= Volumen total acumulado, ml
C= Peso del agua en el espécimen del ensayo, kg

Tabla 96: Rangos para el ensayo de exudación

RANGOS PARA LA EXUDACION
0,71% < E < 2%

Fuente: NTP 339.077

b) Tablas:

Tabla 97: Resultados del ensayo de exudación para el concreto f'c=210kg/cm²

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO F'c=210KG/CM ²				
MUESTRA	VOLUMEN DE EXUDACION POR UNIDAD DE AREA SUPERFICIAL (ML)	PESO DEL AGUA EN EL ESPECIMEN DEL ENSAYO (KG)	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (%)	PROMEDIO (%)
1	0.16	2.53	3.32	3.38
2	0.16	2.53	3.41	
3	0.17	2.53	3.50	
4	0.16	2.53	3.32	
5	0.17	2.53	3.50	
6	0.16	2.53	3.31	
7	0.16	2.53	3.26	
8	0.16	2.53	3.44	
9	0.16	2.53	3.27	
10	0.16	2.53	3.45	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	3.26
MAYOR VALOR:	3.50
RANGO:	0.24
DESVIACION ESTANDAR:	0.09
COEF. VARIACION:	3%



Tabla 98: Resultados del ensayo de exudación para el concreto con aditivo superplastificante al 0.6% y 0.8%

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6%				
MUESTRA	VOLUMEN DE EXUDACION POR UNIDAD DE AREA SUPERFICIAL (ML)	PESO DEL AGUA EN EL ESPECIMEN DEL ENSAYO (KG)	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (%)	PROMEDIO (%)
1	0.05	2.53	1.08	1.10
2	0.05	2.53	1.10	
3	0.05	2.53	1.09	
4	0.05	2.53	1.13	
5	0.05	2.53	1.08	
6	0.05	2.53	1.12	
7	0.05	2.53	1.09	
8	0.05	2.53	1.11	
9	0.05	2.53	1.08	
10	0.05	2.53	1.12	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	1.08
MAYOR VALOR:	1.13
RANGO:	0.05
DESVIACION ESTANDAR:	0.02
COEF. VARIACION:	2%

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8%				
MUESTRA	VOLUMEN DE EXUDACION POR UNIDAD DE AREA SUPERFICIAL (ML)	PESO DEL AGUA EN EL ESPECIMEN DEL ENSAYO (KG)	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (%)	PROMEDIO (%)
1	0.04	2.53	0.88	0.88
2	0.04	2.53	0.86	
3	0.04	2.53	0.88	
4	0.04	2.53	0.89	
5	0.04	2.53	0.88	
6	0.04	2.53	0.87	
7	0.04	2.53	0.90	
8	0.04	2.53	0.89	
9	0.04	2.53	0.87	
10	0.04	2.53	0.87	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	0.86
MAYOR VALOR:	0.90
RANGO:	0.04
DESVIACION ESTANDAR:	0.01
COEF. VARIACION:	1%



Tabla 99: Resultados del ensayo de exudación para el concreto con aditivo superplastificante al 1% y 1.5%

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1%				
MUESTRA	VOLUMEN DE EXUDACION POR UNIDAD DE AREA SUPERFICIAL (ML)	PESO DEL AGUA EN EL ESPECIMEN DEL ENSAYO (KG)	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (%)	PROMEDIO (%)
1	0.19	2.53	4.01	4.00
2	0.19	2.53	4.01	
3	0.19	2.53	3.99	
4	0.19	2.53	3.99	
5	0.19	2.53	4.00	
6	0.19	2.53	4.01	
7	0.19	2.53	4.03	
8	0.19	2.53	3.99	
9	0.19	2.53	4.00	
10	0.19	2.53	3.99	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	3.99
MAYOR VALOR:	4.03
RANGO:	0.04
DESVIACION ESTANDAR:	0.01
COEF. VARIACION:	0%

ENSAYO DE EXUDACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5%				
MUESTRA	VOLUMEN DE EXUDACION POR UNIDAD DE AREA SUPERFICIAL (ML)	PESO DEL AGUA EN EL ESPECIMEN DEL ENSAYO (KG)	CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA (%)	PROMEDIO (%)
1	0.33	2.53	7.02	7.02
2	0.33	2.53	7.00	
3	0.33	2.53	7.01	
4	0.33	2.53	7.02	
5	0.33	2.53	7.02	
6	0.33	2.53	7.03	
7	0.34	2.53	7.04	
8	0.33	2.53	7.02	
9	0.33	2.53	7.03	
10	0.33	2.53	7.01	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	7.00
MAYOR VALOR:	7.04
RANGO:	0.03
DESVIACION ESTANDAR:	0.01
COEF. VARIACION:	0%



c) Análisis de la prueba:

Tabla 100: Resultado de exudaciones promedio

TIPO DE CONCRETO	EXUDACIÓN DEL CONCRETO (%)
Concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	3.38
Concreto + aditivo superplastificante al 0.6%	1.10
Concreto + aditivo superplastificante al 0.8%	0.88
Concreto + aditivo superplastificante al 1%	4.00
Concreto + aditivo superplastificante al 1.5%	7.02

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	0.88 %
MAYOR VALOR:	7.02 %
RANGO:	6.14
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	2.5
COEF. VARIACIÓN:	76 %

Del análisis de los resultados de la prueba se determinó que para el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ tiene una exudación fuera de los rangos establecidos por la NTP 339.077 y en cambio las dosificaciones con aditivo superplastificante al 0.6% y 0.8% cumplió con los rangos establecidos de la norma y las dosificaciones con aditivo superplastificante al 1% y 1.5% se observó que incrementa su porcentaje de exudación lo cual no se recomienda utilizar dichas dosificaciones ya que se alejan mucho de los rangos.

3.6.5 Cohesión del concreto mediante ensayo de revenimiento

a) Procesamiento y cálculos de la prueba: Según la tabla 98: Asentamientos

b) Tablas:

Tabla 101: Resultados del ensayo de revenimiento para el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$

ENSAYO DE REVENIMIENTO DEL CONCRETO		
DATOS:	MEDICION DE REVENIMIENTO	
	CONCRETO PATRON $F'c$ 210 kg/cm^2	PROMEDIO
Muestra N°01	2.00 pulg	2.7 pulg
Muestra N°02	2.50 pulg	
Muestra N°03	2.70 pulg	
Muestra N°04	3.00 pulg	
Muestra N°05	2.50 pulg	
Muestra N°06	3.00 pulg	
Muestra N°07	3.10 pulg	
Muestra N°08	2.80 pulg	
Muestra N°09	2.60 pulg	
Muestra N°10	3.00 pulg	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	2.00
MAYOR VALOR:	3.10
RANGO:	1.10
DESVIACION ESTANDAR:	0.34
COEF. VARIACION:	12%



Tabla 102: Resultados del ensayo de revenimiento para el concreto con aditivo superplastificante al 0.6%

ENSAYO DE REVENIMIENTO DEL CONCRETO		
DATOS:	MEDICION DE REVENIMIENTO	
	CONCRETO PATRON F'c 210 kg/cm2 + ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE AL 0.6%	
		PROMEDIO
Muestra N°01	3.80 pulg	4.1 pulg
Muestra N°02	4.20 pulg	
Muestra N°03	4.50 pulg	
Muestra N°04	4.00 pulg	
Muestra N°05	4.20 pulg	
Muestra N°06	3.70 pulg	
Muestra N°07	4.30 pulg	
Muestra N°08	4.20 pulg	
Muestra N°09	4.50 pulg	
Muestra N°10	4.00 pulg	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	3.70
MAYOR VALOR:	4.50
RANGO:	0.80
DESVIACION ESTANDAR:	0.27
COEF. VARIACION:	6%

Tabla 103: Resultados del ensayo de revenimiento para el concreto con aditivo superplastificante al 0.8%

ENSAYO DE REVENIMIENTO DEL CONCRETO		
DATOS:	MEDICION DE REVENIMIENTO	
	CONCRETO PATRON F'c 210 kg/cm2 + ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE AL 0.8%	
		PROMEDIO
Muestra N°01	4.80 pulg	5.4 pulg
Muestra N°02	5.50 pulg	
Muestra N°03	5.20 pulg	
Muestra N°04	5.00 pulg	
Muestra N°05	5.30 pulg	
Muestra N°06	5.80 pulg	
Muestra N°07	5.40 pulg	
Muestra N°08	5.80 pulg	
Muestra N°09	5.50 pulg	
Muestra N°10	5.20 pulg	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	4.80
MAYOR VALOR:	5.80
RANGO:	1.00
DESVIACION ESTANDAR:	0.32
COEF. VARIACION:	6%



Tabla 104: Resultados del ensayo de revenimiento para el concreto con aditivo superplastificante al 1%

ENSAYO DE REVENIMIENTO DEL CONCRETO		
DATOS:	MEDICION DE REVENIMIENTO	
	CONCRETO PATRON F'c 210 kg/cm ² + ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE AL 1%	
		PROMEDIO
Muestra N°01	7.50 pulg	7.9 pulg
Muestra N°02	8.00 pulg	
Muestra N°03	8.20 pulg	
Muestra N°04	7.60 pulg	
Muestra N°05	7.70 pulg	
Muestra N°06	7.90 pulg	
Muestra N°07	8.00 pulg	
Muestra N°08	7.20 pulg	
Muestra N°09	8.00 pulg	
Muestra N°10	8.60 pulg	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	7.20
MAYOR VALOR:	8.60
RANGO:	1.40
DESVIACION ESTANDAR:	0.39
COEF. VARIACION:	5%

Tabla 105: Resultados del ensayo de revenimiento para el concreto con aditivo superplastificante al 1.5%

ENSAYO DE REVENIMIENTO DEL CONCRETO		
DATOS:	MEDICION DE REVENIMIENTO	
	CONCRETO PATRON F'c 210 kg/cm ² + ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE AL 1.5%	
		PROMEDIO
Muestra N°01	10.00 pulg	10.4 pulg
Muestra N°02	10.30 pulg	
Muestra N°03	10.80 pulg	
Muestra N°04	10.50 pulg	
Muestra N°05	10.00 pulg	
Muestra N°06	10.20 pulg	
Muestra N°07	10.60 pulg	
Muestra N°08	10.70 pulg	
Muestra N°09	10.50 pulg	
Muestra N°10	10.00 pulg	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	10.00
MAYOR VALOR:	10.80
RANGO:	0.80
DESVIACION ESTANDAR:	0.30
COEF. VARIACION:	3%



c) **Análisis de la prueba:**

Tabla 106: Resultado de cohesiones promedio

TIPO DE CONCRETO	COHESIÓN DEL CONCRETO (pulg)
Concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	2.70
Concreto + aditivo superplastificante al 0.6%	4.10
Concreto + aditivo superplastificante al 0.8%	5.40
Concreto + aditivo superplastificante al 1%	7.90
Concreto + aditivo superplastificante al 1.5%	10.40

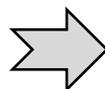
VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	2.70 pulg
MAYOR VALOR:	10.40 pulg
RANGO:	7.70
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	3.07
COEF. VARIACIÓN:	50 %

Del análisis de los resultados de la prueba se determinó que para el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ cumplió con el asentamiento del diseño de mezclas 2.7 pulg promedio con desviación estándar del 0.3 y en cambio las dosificaciones con aditivo superplastificante al 0.6%,0.8%,1% y 1.5% existe un aumento progresivo de asentamiento de 4.1 pulg, 5.4 pulg, 7.9 pulg y 10.4 pulg respectivamente aumentando la consistencia de la mezcla de un estado seco a líquido.

3.6.6 Viscosidad del concreto mediante cilindros concéntricos (Viscosímetro de Couette)

a) **Procesamiento y cálculos de la prueba:**

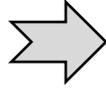
$$\eta = \frac{mgr(R_2 - R_1)}{2\pi R_1^2 l}$$



- η = Viscosidad del concreto, Pa.s
- m = Masa con respecto a de las pesas, kg
- g = Gravedad, m/s²
- r = Radio de la varilla o eje, m
- R_2 = Radio del cilindro exterior, m
- R_1 = Radio del cilindro interior, m
- l = Distancia o longitud del vástago, m³

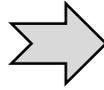


$$\tau = \frac{mgr}{2\pi l R_1^2}$$



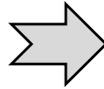
τ = Esfuerzo de corte, Pa
 m = Masa con respecto a de las pesas, kg
 g = Gravedad, m/s²
 r = Radio de la varilla o eje, m
 R_1 = Radio del cilindro interior, m
 l = Distancia o longitud del vástago, m³

$$\gamma = \frac{V}{R_2 - R_1}$$



γ = Rapidez de deformación, S⁻¹
 V = Velocidad, m/s
 R_2 = Radio del cilindro exterior, m
 R_1 = Radio del cilindro interior, m

$$V = GV \times R_1$$



V = Velocidad, m/s
 GV = Rapidez de deformación, rad/s
 R_1 = Radio del cilindro interior, m

Tabla 107: Rangos para el ensayo de viscosidad

RANGOS PARA LA VISCOSIDAD
10 Pa.s < η < 80 Pa.s

Fuente: Tesis de Caicedo moreno, Enzo Lizardo del Álamo abanto, Jeaffet lui - desarrollo de concretos fluidos coloreados a reología adaptada, aplicados a la construcción de edificaciones de concreto en Lima



b) Tablas:

Tabla 108: Resultados para el ensayo de viscosidad del concreto $f'c$ 210 kg/cm² y con aditivo superplastificante al 0.6%

ENSAYO DE VISCOSIDAD PARA EL CONCRETO $f'c=210KG/CM^2$						
MUESTRA	GRADIENTE DE VELOCIDAD (rad/s)	VELOCIDAD (m/s)	MASA (kg)	Rapidez de def. $\gamma(S^{-1})$	Esfuerzo de corte. $\tau(Pa)$	VISCOSIDAD (Pa.s)
N°1	0.77	0.02	1.00	0.39	35.57	92.39
N°2	0.78	0.02	1.00	0.39	35.57	91.20
N°3	1.18	0.03	1.53	0.59	54.35	92.12
N°4	1.20	0.03	1.53	0.60	54.35	90.58
N°5	1.52	0.04	2.00	0.76	71.14	93.60
N°6	1.53	0.04	2.00	0.77	71.14	92.99
N°7	1.96	0.05	2.53	0.98	89.92	91.75
N°8	1.94	0.05	2.53	0.97	89.92	92.66
N°9	2.31	0.06	3.00	1.16	106.70	92.39
N°10	2.33	0.06	3.00	1.17	106.70	91.59

ENSAYO DE VISCOSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6%						
MUESTRA	GRADIENTE DE VELOCIDAD (rad/s)	VELOCIDAD (m/s)	MASA (kg)	Rapidez de def. $\gamma(S^{-1})$	Esfuerzo de corte. $\tau(Pa)$	VISCOSIDAD (Pa.s)
N°1	1.52	0.04	1.00	0.76	35.57	46.80
N°2	1.54	0.04	1.00	0.77	35.57	46.19
N°3	2.33	0.06	1.53	1.17	54.35	46.65
N°4	2.35	0.06	1.53	1.18	54.35	46.25
N°5	3.02	0.08	2.00	1.51	71.14	47.11
N°6	3.05	0.08	2.00	1.53	71.14	46.65
N°7	3.84	0.10	2.53	1.92	89.92	46.83
N°8	3.86	0.10	2.53	1.93	89.92	46.59
N°9	4.59	0.12	3.00	2.30	106.70	46.49
N°10	4.61	0.12	3.00	2.31	106.70	46.29



Tabla 109: Resultados para el ensayo de viscosidad del concreto con aditivo superplastificante al 0.8%, 1% y 1.5%

ENSAYO DE VISCOSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8%						
MUESTRA	GRADIENTE DE VELOCIDAD (rad/s)	VELOCIDAD (m/s)	MASA (kg)	Rapidez de derf. $\gamma(S^{-1})$	Esfuerzo de corte. $\tau(Pa)$	VISCOSIDAD (Pa.s)
N°1	3.21	0.08	1.00	1.61	35.57	22.16
N°2	3.33	0.08	1.00	1.67	35.57	21.36
N°3	5.08	0.13	1.53	2.54	54.35	21.40
N°4	5.12	0.13	1.53	2.56	54.35	21.23
N°5	6.54	0.17	2.00	3.27	71.14	21.75
N°6	6.57	0.17	2.00	3.29	71.14	21.65
N°7	8.15	0.21	2.53	4.08	89.92	22.07
N°8	8.17	0.21	2.53	4.09	89.92	22.01
N°9	9.41	0.24	3.00	4.71	106.70	22.68
N°10	9.46	0.24	3.00	4.73	106.70	22.56

ENSAYO DE VISCOSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1%						
MUESTRA	GRADIENTE DE VELOCIDAD (rad/s)	VELOCIDAD (m/s)	MASA (kg)	Rapidez de derf. $\gamma(S^{-1})$	Esfuerzo de corte. $\tau(Pa)$	VISCOSIDAD (Pa.s)
N°1	32.52	0.83	1.00	16.26	35.57	2.19
N°2	33.94	0.86	1.00	16.97	35.57	2.10
N°3	49.56	1.26	1.53	24.78	54.35	2.19
N°4	51.24	1.30	1.53	25.62	54.35	2.12
N°5	64.35	1.63	2.00	32.18	71.14	2.21
N°6	66.32	1.68	2.00	33.16	71.14	2.15
N°7	82.34	2.09	2.53	41.17	89.92	2.18
N°8	83.21	2.11	2.53	41.61	89.92	2.16
N°9	86.67	2.20	3.00	43.34	106.70	2.46
N°10	87.52	2.22	3.00	43.76	106.70	2.44

ENSAYO DE VISCOSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5%						
MUESTRA	GRADIENTE DE VELOCIDAD (rad/s)	V:VELOCIDAD (m/s)	M:MASA (kg)	Rapidez de derf. $\gamma(S^{-1})$	Esfuerzo de corte. $\tau(Pa)$	VISCOSIDAD (Pa.s)
N°1	56.54	1.44	1.00	28.27	35.57	1.26
N°2	57.65	1.46	1.00	28.83	35.57	1.23
N°3	84.52	2.15	1.53	42.26	54.35	1.29
N°4	85.21	2.16	1.53	42.61	54.35	1.28
N°5	112.30	2.85	2.00	56.15	71.14	1.27
N°6	113.45	2.88	2.00	56.73	71.14	1.25
N°7	143.25	3.64	2.53	71.63	89.92	1.26
N°8	144.22	3.66	2.53	72.11	89.92	1.25
N°9	167.40	4.25	3.00	83.70	106.70	1.27
N°10	169.20	4.30	3.00	84.60	106.70	1.26



c) **Análisis de la prueba:**

Tabla 110: Resultado de viscosidades promedio

TIPO DE CONCRETO	VISCOSIDAD DEL CONCRETO (Pa.s)
Concreto f'c=210 kg/cm ²	92.13
Concreto + aditivo superplastificante al 0.6%	46.59
Concreto + aditivo superplastificante al 0.8%	21.89
Concreto + aditivo superplastificante al 1%	2.22
Concreto + aditivo superplastificante al 1.5%	1.26

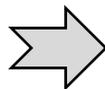
VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	1.26 Pa.s
MAYOR VALOR:	92.13 Pa.s
RANGO:	90.87
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	37.94
COEF. VARIACIÓN:	115%

Del análisis de los resultados de la prueba se determinó que para el concreto f'c=210kg/cm² se tuvo una viscosidad promedio de 92.13 Pa.s la que vendría a ser muy elevada ya que se tomó como referencia las recomendaciones de nuestros antecedentes, pero en las dosificaciones con aditivo superplastificante al 0.6% y 0.8% se obtuvo una viscosidad promedio de 46.59 Pa.s y 21.89 Pa.s respectivamente lo que nos indica una viscosidad media, un material de una consistencia fluida y plástica. Finalmente, las dosificaciones con aditivo superplastificante al 1% y 1.5% presentaron una viscosidad promedio de 2.22 Pa.s y 1.26 Pa.s lo que nos indica una viscosidad baja y un material liquido de elevada densidad en su pasta, por consecuente no se recomienda utilizar dichas dosificaciones ya que se alejan mucho de los rangos.

3.6.7 Densidad del concreto mediante el ensayo de densidad aparente

a) **Procesamiento o cálculos**

$$D = \frac{Mc \times Mm}{Vm}$$



D= Densidad del concreto, kg/m³
 Mc= Masa del recipiente de medida llenado con concreto, kg
 Mm= Masa del recipiente de medida, kg
 Vm= Volumen del recipiente de medida, m³

Tabla 111: Rangos para el ensayo de densidad

RANGOS PARA LA DENSIDAD
2200 kg/m ³ < D > 2400 kg/m ³

Fuente: NTP 339.046



b) Diagramas o tablas

Tabla 112: Resultados del ensayo de densidad del concreto $f'c$ 210 kg/cm² y 0.6%

ENSAYO DE DENSIDAD PARA EL CONCRETO $f'c=210\text{KG}/\text{CM}^2$		
MUESTRA	DENSIDAD DEL CONCRETO (KG/M ³)	PROMEDIO (KG/M ³)
1	2345.83	2353.33
2	2357.50	
3	2362.50	
4	2344.17	
5	2349.33	
6	2345.83	
7	2352.50	
8	2355.50	
9	2356.00	
10	2364.17	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	2344.17
MAYOR VALOR:	2364.17
RANGO:	20.00
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	7.02
COEF. VARIACIÓN:	0%

ENSAYO DE DENSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6%		
MUESTRA	DENSIDAD DEL CONCRETO (KG/M ³)	PROMEDIO (KG/M ³)
1	2367.50	2381.39
2	2379.17	
3	2395.50	
4	2383.67	
5	2368.83	
6	2382.50	
7	2397.08	
8	2366.67	
9	2377.00	
10	2396.00	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	2366.67
MAYOR VALOR:	2397.08
RANGO:	30.42
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	11.82
COEF. VARIACIÓN:	0%



Tabla 113: Resultados del ensayo de densidad concreto con aditivo superplastificante al 0.8%,
1% y 1.5%

ENSAYO DE DENSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8%		
MUESTRA	DENSIDAD DEL CONCRETO (KG/M ³)	PROMEDIO (KG/M ³)
1	2397.50	2398.33
2	2398.67	
3	2391.50	
4	2413.33	
5	2388.50	
6	2396.33	
7	2391.00	
8	2408.83	
9	2401.00	
10	2396.65	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	2388.50
MAYOR VALOR:	2413.33
RANGO:	24.83
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	7.80
COEF. VARIACIÓN:	0%

ENSAYO DE DENSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1%		
MUESTRA	DENSIDAD DEL CONCRETO (KG/M ³)	PROMEDIO (KG/M ³)
1	2400.00	2411.27
2	2416.67	
3	2425.00	
4	2401.67	
5	2412.50	
6	2402.50	
7	2433.67	
8	2405.67	
9	2397.50	
10	2417.50	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	2397.50
MAYOR VALOR:	2433.67
RANGO:	36.17
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	11.91
COEF. VARIACIÓN:	0%

ENSAYO DE DENSIDAD PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5%		
MUESTRA	DENSIDAD DEL CONCRETO (KG/M ³)	PROMEDIO (KG/M ³)
1	2441.67	2449.58
2	2434.00	
3	2450.50	
4	2460.17	
5	2450.67	
6	2442.17	
7	2469.67	
8	2437.50	
9	2457.67	
10	2451.83	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	2434.00
MAYOR VALOR:	2469.67
RANGO:	37.67
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	11.03
COEF. VARIACIÓN:	0%



c) **Análisis de la prueba**

Tabla 114: Resultado de densidades promedio

TIPO DE CONCRETO	DENSIDAD DEL CONCRETO (kg/m ³)
Concreto f'c=210 kg/cm ²	2353.33
Concreto + aditivo superplastificante al 0.6%	2381.39
Concreto + aditivo superplastificante al 0.8%	2398.33
Concreto + aditivo superplastificante al 1%	2411.27
Concreto + aditivo superplastificante al 1.5%	2449.58

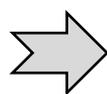
VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	2353.33 kg/m ³
MAYOR VALOR:	2449.58 kg/m ³
RANGO:	96.25
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	35.72
COEF. VARIACIÓN:	1.5%

Del análisis de los resultados de la prueba de densidad se determinó que para el concreto f'c=210kg/cm² se posee una densidad dentro de los rangos establecidos por la NTP 339.046, de igual manera para las dosificaciones con aditivo superplastificante al 0.6% y 0.8% cumplen con los rangos establecidos de la norma, pero en las dosificaciones con aditivo superplastificante al 1% y 1.5% se observó que se incrementó su densidad la que no se recomienda utilizar dichas dosificaciones, ya que se alejan mucho de los rangos.

3.6.8 Método para determinación del factor de compactación del concreto

a) **Procesamiento o cálculos**

$$FC = \frac{(W2 - W1)}{(W3 - W1)}$$



FC= Factor de compactación, kg/kg
W1= Peso del cilindro vacío, kg
W2= Peso del concreto parcialmente compactado, kg
W3= Peso del concreto totalmente compactado, kg

Tabla 115: Rangos para el ensayo de factor de compactación

RANGOS PARA EL FACTOR DE COMPACTACIÓN
0,78 < F.C. < 0.95

Fuente: BS:1881: Part 103



Tabla 116: Comparación de la trabajabilidad del concreto en función del revenimiento y el factor de compactación y los usos que se le da

Trabajabilidad	Slump (mm)	F.C	Usos
Muy Bajo	0 - 25	0.78	Caminos - Pavimentos
Bajo	25 - 50	0.85	Fundaciones de Concreto
Medio	25 - 100	0.92	Concreto Reforzado
Alto	100 - 175	0.95	Concreto Armado (Alto Esfuerzo)

Fuente: BS:1881: Part 103

b) Diagramas o tablas

Tabla 117: Resultados del ensayo de factor de compactación del concreto $f'c$ 210 kg/cm

ENSAYO DE FACTOR DE COMPACTACION PARA EL CONCRETO $f'c=210\text{KG}/\text{CM}^2$		
MUESTRA	VALOR DEL FACTOR DE COMPACTACION (KG/KG)	PROMEDIO
1	0.83	0.82
2	0.86	
3	0.87	
4	0.81	
5	0.79	
6	0.81	
7	0.82	
8	0.79	
9	0.79	
10	0.86	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	0.79
MAYOR VALOR:	0.87
RANGO:	0.08
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	0.03
COEF. VARIACIÓN:	4%



Tabla 118: Resultados del ensayo de factor de compactación concreto con aditivo superplastificante al 0.6% y 0.8%

ENSAYO DE FACTOR DE COMPACTACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.6%		
MUESTRA	VALOR DEL FACTOR DE COMPACTACION (KG/KG)	PROMEDIO
1	0.84	0.86
2	0.88	
3	0.87	
4	0.88	
5	0.85	
6	0.88	
7	0.86	
8	0.85	
9	0.86	
10	0.87	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	0.84
MAYOR VALOR:	0.88
RANGO:	0.04
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	0.01
COEF. VARIACIÓN:	1%

ENSAYO DE FACTOR DE COMPACTACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 0.8%		
MUESTRA	VALOR DEL FACTOR DE COMPACTACION (KG/KG)	PROMEDIO
1	0.90	0.92
2	0.92	
3	0.91	
4	0.91	
5	0.91	
6	0.92	
7	0.92	
8	0.92	
9	0.92	
10	0.92	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	0.90
MAYOR VALOR:	0.92
RANGO:	0.02
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	0.01
COEF. VARIACIÓN:	1%



Tabla 119: Resultados del ensayo de factor de compactación concreto con aditivo superplastificante al 1% y 1.5%

ENSAYO DE FACTOR DE COMPACTACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1%		
MUESTRA	VALOR DEL FACTOR DE COMPACTACION (KG/KG)	PROMEDIO
1	0.95	0.95
2	0.95	
3	0.95	
4	0.98	
5	0.95	
6	0.95	
7	0.94	
8	0.96	
9	0.95	
10	0.96	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	0.94
MAYOR VALOR:	0.98
RANGO:	0.04
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	0.01
COEF. VARIACIÓN:	1%

ENSAYO DE FACTOR DE COMPACTACION PARA EL CONCRETO CON ADITIVO AL 1.5%		
MUESTRA	VALOR DEL FACTOR DE COMPACTACION (KG/KG)	PROMEDIO
1	0.98	0.99
2	1.00	
3	1.00	
4	1.00	
5	0.99	
6	0.99	
7	1.00	
8	1.00	
9	1.00	
10	1.00	

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	0.98
MAYOR VALOR:	1.00
RANGO:	0.02
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	0.01
COEF. VARIACIÓN:	1%



c) Análisis de la prueba

Tabla 120: Resultado de valores de factor de compactación promedio

TIPO DE CONCRETO	FACTOR DE COMPACTACIÓN DEL CONCRETO (kg/kg)
Concreto $f'c=210$ kg/cm ²	0.82
Concreto + aditivo superplastificante al 0.6%	0.86
Concreto + aditivo superplastificante al 0.8%	0.92
Concreto + aditivo superplastificante al 1%	0.95
Concreto + aditivo superplastificante al 1.5%	0.99

VARIABILIDAD	
MENOR VALOR:	0.82
MAYOR VALOR:	0.99
RANGO:	0.17
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	0.07
COEF. VARIACIÓN:	7.5%

Del análisis de los resultados de la prueba de factor de compactación se determinó que para el concreto $f'c=210$ kg/cm² posee un factor de compactación dentro de los rangos establecidos por la norma BS:1881:Part 103, de igual manera para las dosificaciones con aditivo superplastificante al 0.6%, 0.8% y 1% cumplen con los rangos establecidos de la norma, en cambio las dosificaciones con aditivo superplastificante al 1.5% se observó que se incrementa el factor de compactación la que no se recomienda utilizar dosificaciones, ya que se alejan mucho de los rangos establecidos.

Capítulo IV: Resultados

4.1 Resultados para la propiedad de estabilidad del concreto

4.1.1 Resultados para la segregación del concreto

Tabla 121: Resultados finales para la segregación del concreto

TIPO DE CONCRETO	SEGREGACION DEL CONCRETO (%)	RANGOS PERMISIBLES	RESULTADO
Concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	5.95	0% - 6%	CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 0.6%	4.36	0% - 6%	CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 0.8%	9.72	0% - 6%	NO CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 1%	21.80	0% - 6%	NO CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 1.5%	54.63	0% - 6%	NO CUMPLE

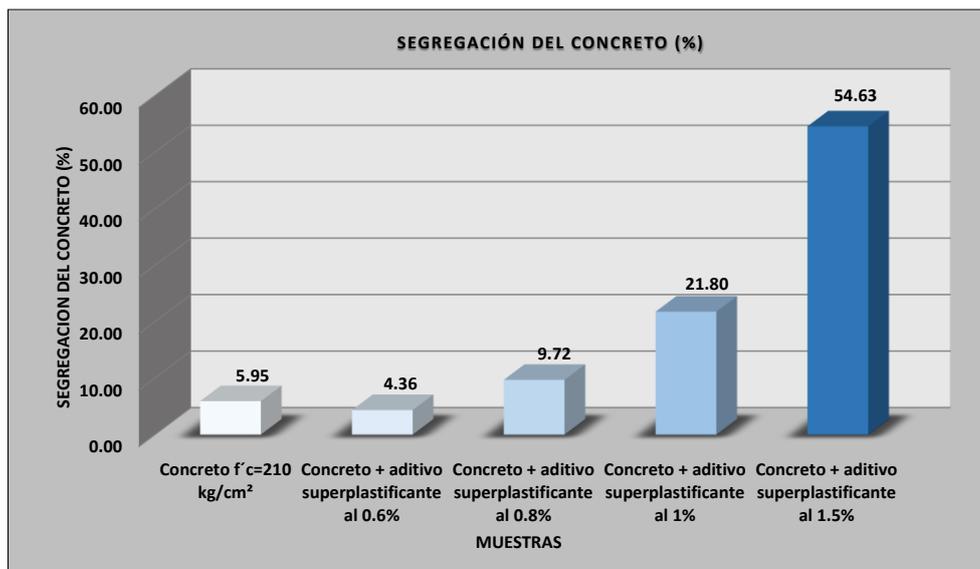


Figura 109: Resumen promedio de segregación del concreto

Del análisis de los resultados finales de la segregación estática del concreto se determinó que para el concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ se tuvo un porcentaje de segregación de 5.95 %, debido a que la mezcla poseía más agregado grueso que agregado fino, esta presentaba una mezcla seca, la que producía que la mezcla necesitaba una mejor cohesión para que las partículas gruesas pudieran estar suspendidas homogéneamente. Para las dosificaciones con aditivos superplastificante al 0.6% se tuvo un porcentaje de segregación de 4.36% la que fue óptima para el utilizar una dosificación, ya que el aditivo mejoro la plasticidad de la mezcla y genero



una mejor suspensión, principalmente con la distribución más homogénea del grueso, a pesar que se elaboró con la misma relación agua/cemento. Finalmente fue posible el uso de la mezcla con dosificación 0.8%, con un porcentaje de segregación de 9.72% pese a que presento una segregación fuera del rango de aceptación, fue una mezcla fluida de buena consistencia que en su uso no se tuvo que vibrar o varillar debido a la fluidez de la pasta y su menor capacidad para suspender al grueso. En el caso de las dosificaciones 1% y 1.5% presento porcentajes de segregación elevadas de 21.8% y 54.63% respectivamente siendo no aptas para su uso ya que se observó que la mezcla se disgrego y lo grueso no pudo ser suspendido fácilmente se apreció una sedimentación debido a que la mezcla se encuentra con una consistencia líquida.

4.1.2 Resultados para la exudación del concreto

Tabla 122: Resultados finales para la exudación del concreto

TIPO DE CONCRETO	EXUDACIÓN DEL CONCRETO (%)	RANGOS PERMISIBLES	RESULTADO
Concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	3.38	0.71% - 2%	NO CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 0.6%	1.10	0.71% - 2%	CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 0.8%	0.88	0.71% - 2%	CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 1%	4.00	0.71% - 2%	NO CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 1.5%	7.02	0.71% - 2%	NO CUMPLE

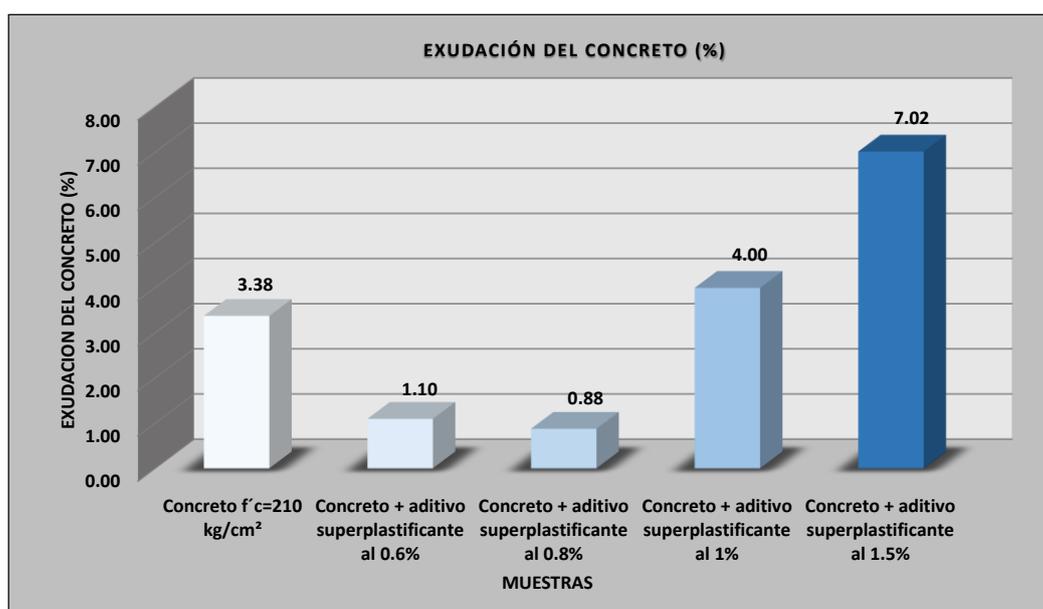


Figura 110: Resumen final promedio de exudación del concreto



Del análisis de los resultados finales de exudación del concreto se determinó que para el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ se tuvo una exudación de 3.38%, el que debido a que la mezcla poseía más agregado grueso que agregado fino, la cual produjo una menor retención de agua y por lo tanto existió mayor exudación. Para las dosificaciones con aditivo superplastificante al 0.6% y 0.8% se tuvo una exudación de 1.10% y 0.88% la que fue muy optima al utilizar dichas dosificaciones, debido a que el aditivo disminuyo la cantidad de agua exudada, a pesar que se elaboró con la misma relación agua/cemento.

Las dosificaciones con aditivo superplastificante al 1% y 1.5% presento exudaciones de 4% y 7.02%, en el que se observó un retraso inicial de volumen de agua, el que posteriormente se incrementó a grandes cantidades lo cual perjudico la mezcla y se ocasionaría fisura y grietas.

4.2 Resultados para la propiedad de movilidad del concreto

4.2.1 Resultados para la cohesión del concreto

Tabla 123: Resultados finales para el revenimiento del concreto

TIPO DE CONCRETO	COHESIÓN DEL CONCRETO (pulg)	TIPO DE CONSTRUCCIÓN	CONSISTENCIA
Concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$	2.70	Zapatras, Muros de cimentacion reforzados, Pavimentos y Losas	Plastica (P)
Concreto + aditivo superplastificante al 0.6%	4.10	Zapatras, Muros de cimentacion reforzados, Pavimentos y Losas	Plastica (P)
Concreto + aditivo superplastificante al 0.8%	5.40	Columnas, Vigas y Muros reforzados	Fluidad (F)
Concreto + aditivo superplastificante al 1%	7.90	No recomendable	Liquida (L)
Concreto + aditivo superplastificante al 1.5%	10.40	No recomendable	Liquida (L)

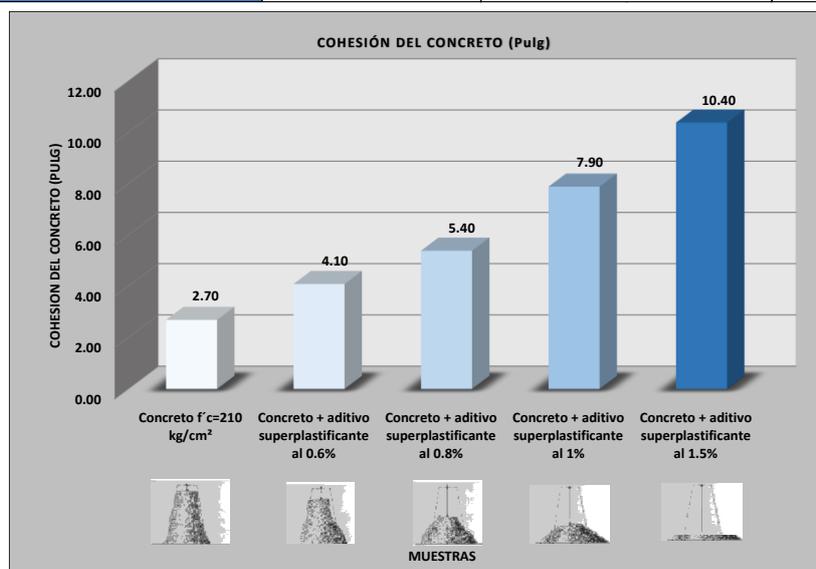


Figura 111: Resumen final promedio del revenimiento del concreto



Del análisis de los resultados finales del revenimiento del concreto se determinó que para el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ se tuvo un asentamiento de 2.7 Pulg, debido a que la mezcla contenía más agregado grueso que agregado fino y esta presentaba una cohesión seca, la que nos indicaba que la mezcla cumplía con el diseño establecido para el concreto, diseño de 3 pulg. Para las dosificación con aditivo superplastificante al 0.6% tuvo un asentamiento de 4.1 Pulg. La que fue óptimo para el uso de dosificación, ya que el aditivo mejoro la trabajabilidad y cohesión de la mezcla y genero una mejor movilidad a pesar que se elaboró con la misma relación agua/cemento.

Finalmente es posible el uso de la mezcla con dosificación 0.8% con un asentamiento de 5.4 Pulg. Ya que pesar que el asentamiento estaba fuera del rango de aceptación del diseño de mezclas fue una mezcla fluida de buena consistencia que su uso presentaba una mayor trabajabilidad para su transporte y colocación en obra sin necesidad de vibrado, pero si se usó un leve varillado para homogenizar la mezcla, y en el caso de las dosificaciones 1% y 1.5% presentaba porcentajes asentamiento de 7.9 Pulg. y 10.4 Pulg., los cuales que presentaron una consistencia liquida mejorando su trabajabilidad exageradamente, mostrando una facilidad para transportar mover y colocar. Por consecuente se tuvo en cuenta que no era apto para su uso debido ya que la mezcla presentaba cambio de color, una mayor densidad en los materiales y diversos problemas en otros campos de estudio ya mencionados.

4.2.2 Resultados para la viscosidad del concreto

Tabla 124: Resultados finales para la viscosidad del concreto

TIPO DE CONCRETO	VISCOSIDAD DEL CONCRETO (Pa.s)	RANGOS PERMISIBLES	RESULTADO
Concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$	92.13	10 Pa.s - 80 Pa.s	NO CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 0.6%	46.59	10 Pa.s - 80 Pa.s	CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 0.8%	21.89	10 Pa.s - 80 Pa.s	CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 1%	2.22	10 Pa.s - 80 Pa.s	NO CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 1.5%	1.26	10 Pa.s - 80 Pa.s	NO CUMPLE

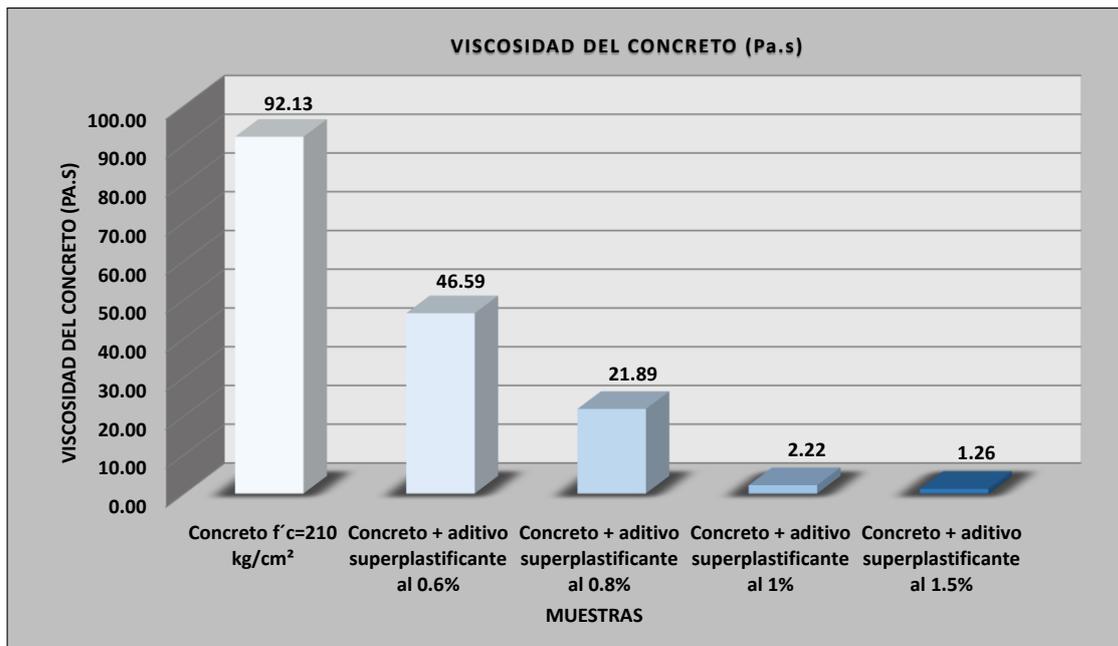


Figura 112: Resumen final promedio de la viscosidad del concreto

Del análisis de los resultados finales de viscosidad del concreto se determinó que para el concreto $f'c=210$ kg/cm² se tuvo una viscosidad de 92.13 Pa.s, debido a que la mezcla poseía una consistencia seca por el diseño de mezclas establecido, lo que nos indica que la mezcla presentaba una viscosidad elevada y no cumplía con las recomendaciones de los antecedentes de modo que contenía una capacidad de flujo baja. Para las dosificaciones con aditivo superplastificante al 0.6% y 0.8% poseían unas viscosidades de 46.59 Pa.s y 21.89 Pa.s respectivamente la cual fue óptima para el uso dicha dosificación, ya que el aditivo mejoro la consistencia del material y la mezcla presentaba una fluencia media para una mejor movilidad y transporte, a pesar que se elaboró con la misma relación agua/cemento. Finalmente, en el caso de las dosificaciones 1% y 1.5% presento porcentajes de asentamiento 2.22 Pa.s. y 1.26 Pa.s respectivamente, siendo no aptas para su uso a pesar de haberse observado que la mezcla mejoro exageradamente la consistencia del concreto a un estado líquido fácil con una fluencia elevada para facilitar el transporte, movimiento y colocación. La mezcla se disgrego observando un cambio de color, densidades en los materiales, y presentando diversos problemas en otros campos de estudio ya mencionados.



4.3 Resultados para la propiedad de compactabilidad del concreto

4.3.1 Resultados para la densidad del concreto

Tabla 125: Resultados finales para la densidad del concreto

TIPO DE CONCRETO	DENSIDAD DEL CONCRETO (kg/m ³)	RANGOS PERMISIBLES	RESULTADO
Concreto f'c=210 kg/cm ²	2353.33	2200 kg/m ³ - 2400 kg/m ³	CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 0.6%	2381.39	2200 kg/m ³ - 2400 kg/m ³	CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 0.8%	2398.33	2200 kg/m ³ - 2400 kg/m ³	CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 1%	2411.27	2200 kg/m ³ - 2400 kg/m ³	NO CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 1.5%	2449.58	2200 kg/m ³ - 2400 kg/m ³	NO CUMPLE

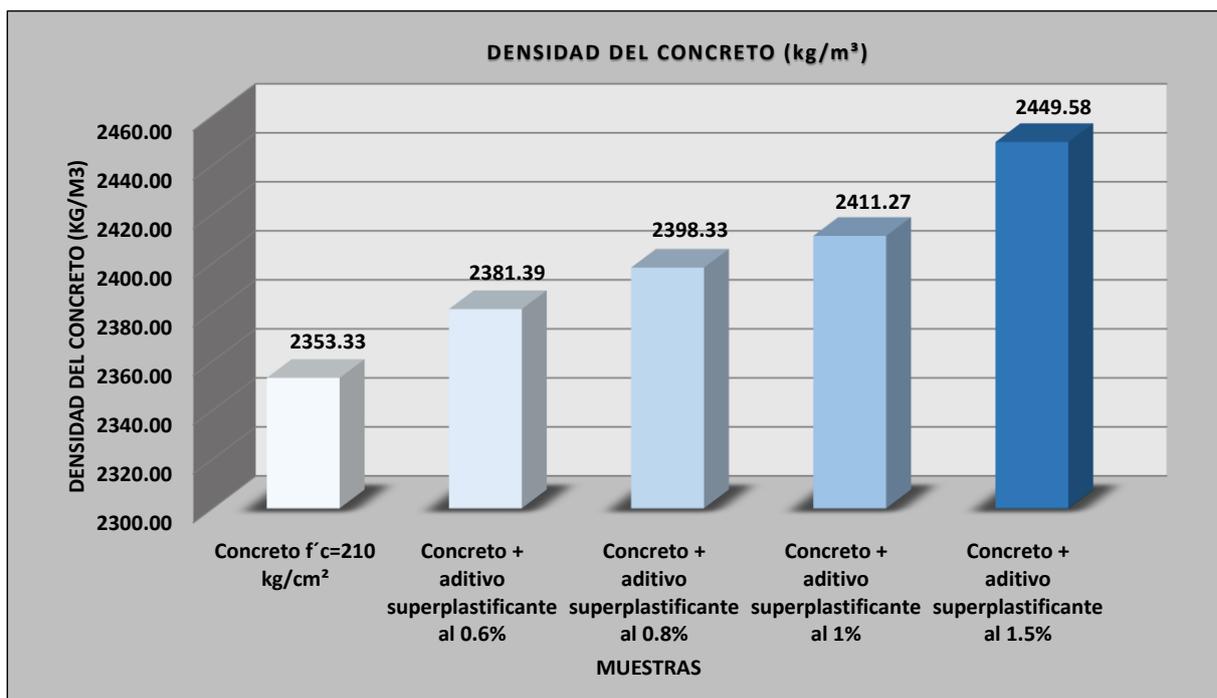


Figura 113: Resumen final promedio de la densidad del concreto

Del análisis de los resultados finales de densidad del concreto se determinó que para el concreto f'c=210kg/cm² tuvo una densidad de 2353.33 kg/m³, el que presento una óptima densidad para concretos ligeros ya que tuvo una mejor relación entre la masa y volumen aparente de las partículas, para las dosificaciones con aditivo superplastificante al 0.6% y 0.8% el que tuvo una densidad de 2381.39 kg/m³ y 2398.33 kg/m³, la cual tuvo una densidad adecuada para concretos



más pesados y las dosificaciones con aditivo superplastificante al 1% y 1.5% la misma que presento densidades de 2411.27 kg/m³ y 2449.58 kg/m³, debido a que contenía malas condiciones ya que poseía una consistencia más fluida e hizo que no existiera espacios vacíos e incremente su masa. Por consiguiente no es óptimo para su uso en la construcción.

4.3.2 Resultados para el factor de compactación

Tabla 126: Resultados finales para el factor de compactación del concreto

TIPO DE CONCRETO	FACTOR DE COMPACTACIÓN DEL CONCRETO (kg/kg)	RANGOS PERMISIBLES	RESULTADO
Concreto $f'c=210$ kg/cm ²	0.82	0.78 - 0.95	CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 0.6%	0.86	0.78 - 0.95	CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 0.8%	0.92	0.78 - 0.95	CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 1%	0.95	0.78 - 0.95	CUMPLE
Concreto + aditivo superplastificante al 1.5%	0.99	0.78 - 0.95	NO CUMPLE

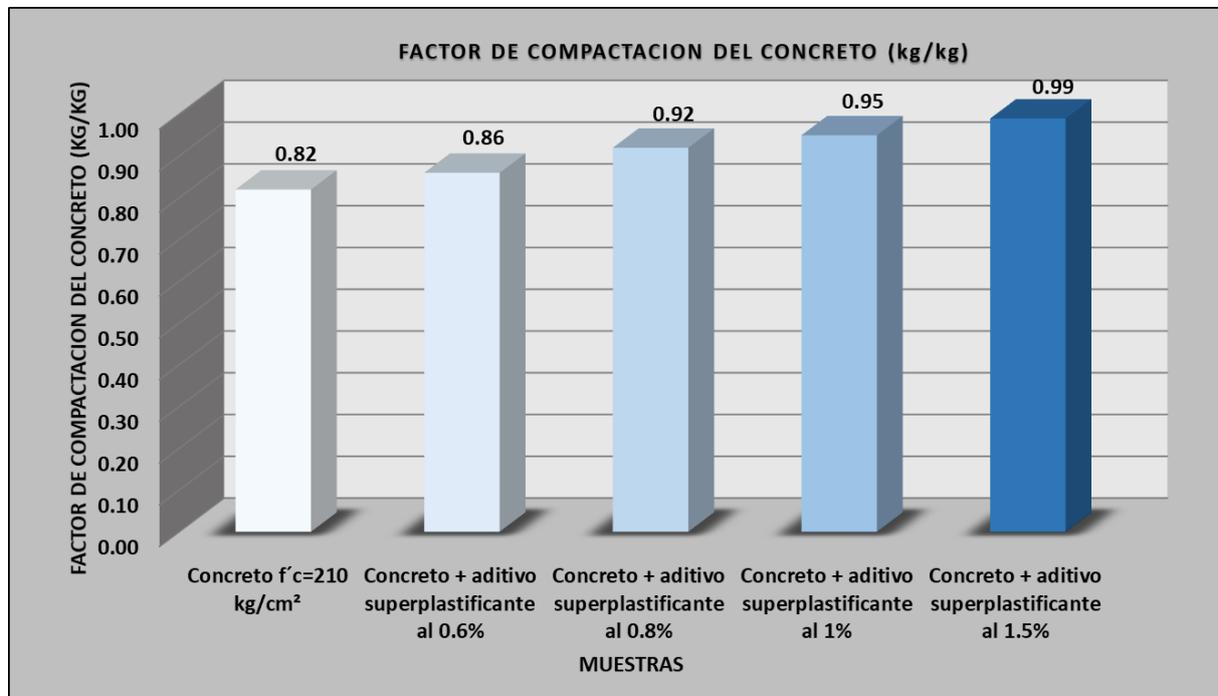


Figura 114: Resumen final promedio del factor de compactación del concreto



Del análisis de los resultados finales de factor de compactación del concreto se determinó que para el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ tuvo un factor de compactación de 0.82 und, el mismo que presento una trabajabilidad baja para cierta cantidad de trabajo, en cuanto a su uso fue utilizado en fundaciones de concreto, para las dosificaciones con aditivo superplastificante al 0.6% y 0.8% el que obtuvo un factor de compactación de 0.86 und y 0.92 und, presentando una trabajabilidad media para cierta cantidad de trabajo, en cuanto a su uso fue utilizado para concretos reforzados y las dosificaciones con aditivo superplastificante al 1% y 1.5% presentaron un factor de compactación de 0.95 und y 0.99 und, los cuales contenían trabajabilidades altas, en cuanto a su uso fue utilizada para concreto armado, pero es importante decir que se produjo sedimentación y cambio de color en la mezcla y no resulta ser óptimo para su uso en la construcción.

4.3.3 Cuadro comparativo de los resultados de las propiedades reológicas del concreto



CUADRO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DEL CONCRETO F'c=210 KG/CM2 CON UN CONCRETO CON SUPERPLASTIFICANTE AL 0.6% - 1.5%

DOSIFICACIÓN	SEGREGACIÓN (%)	EXUDACIÓN (%)	COHESIÓN (Pulg)	VISCOSIDAD (Pas.seg)	DENSIDAD (kg/m ³)	FACTOR DE COMPACTACIÓN (kg/kg)
Concreto f'c=210 kg/cm2	5.95% . Debido a que la mezcla poseía más agregado grueso que agregado fino, esta presentaba una mezcla seca presento una segregación dentro de los rangos.	3.38% . La mezcla poseía distintas densidades, se produjo una menor retención de agua y por lo tanto existió mayor exudación.	2.70pulg. Poseía una consistencia más seca con tendencia plástica, pero que cumple con el diseño de mezclas establecido de 3pulg.	92.13Pas.seg. La mezcla presenta una viscosidad elevada, y no cumple con los rangos de modo que su capacidad de flujo en baja.	2353.33kg/m³. Presento una óptima densidad para concretos ligeros ya que tuvo una mejor relación entre la masa y volumen aparente de las partículas.	0.82. Se obtuvo una mezcla seca con moderada plasticidad y presenta un grado de trabajabilidad muy bajo, recomendado para cimentaciones y pavimentos.
Concreto + aditivo superplastificante al 0.6%	4.36% . Esta mezcla tenía una mejor humedad, pudieron estar uniformemente suspendidas hasta una vez consolidada la mezcla.	1.10% . En este caso las mezclas tuvieron una mejor retención de líquidos, ya que los áridos pudieron contener o arrastrar el agua al irse compactando.	4.10pulg. Mejoró la consistencia de concreto, obteniendo una mezcla plástica, con la misma relación agua cemento.	46.59Pas.seg. El aditivo mejora la consistencia de la mezcla de concreto, presentando una fluencia media para mejorar la movilidad una vez la mezcla este consolidada.	2381.39kg/m³. Densidad adecuada para concretos normales, debido a su buena relación masa y volumen.	0.86. Se obtuvo una mezcla plástica, el cual presenta un grado de trabajabilidad muy bajo, recomendado para cimentaciones y pavimentos.
Concreto + aditivo superplastificante al 0.8%	9.72% . Pese a que presento una segregación fuera del rango de aceptación, fue una mezcla fluida, pero que tiene una menor capacidad para suspender las partículas gruesas.	0.88% . En este caso las mezclas pudieron contener el agua en el proceso de fraguado del concreto.	5.40pulg. Obtuvo una mezcla más fluida, con la misma relación agua cemento.	21.89Pas.seg. Presenta una fluencia media para mejorar la movilidad y transporte una vez la mezcla este consolidada.	2398.33kg/m³. Densidad adecuada para concretos normales, debido a su buena relación masa y volumen.	0.92. Se obtuvo una mezcla fluida, el cual presenta un mayor grado de trabajabilidad media, sin necesidad de vibrado, recomendado para losas.
Concreto + aditivo superplastificante al 1%	21.80% . Presento porcentajes de segregación elevadas y sedimentación siendo no aptas para su uso.	4.00% . Se observó una sedimentación durante el proceso de fraguado sin la posibilidad de remezclar por la dispersión del material.	7.90pulg. Obtuvo una mezcla liquida, tiende a disgregarse y llegar al colapso, siendo una mezcla extremadamente húmeda y no recomendable.	2.22Pas.seg. Presenta una resistencia al flujo mínimo, siendo no aptas para su uso, por el grado de segregación elevado.	2411.27kg/m³. Mezcla de consistencia liquida, para concreto pesados, pero no recomendable para su uso.	0.95. Se obtuvo una mezcla consistencia liquida, el cual presenta un grado de trabajabilidad alta, no son adecuados para vibrar. Para secciones congestionadas de refuerzo.
Concreto + aditivo superplastificante al 1.5%	54.63% . Presento porcentajes de segregación elevadas, siendo no aptas para su uso, ya que se observó que la mezcla se disgrego y se observó una sedimentación.	7.02% . La parte solida no pudo retener toda el agua cuando se fue consolidando la mezcla de concreto debido a que se observó una sedimentación durante el proceso de fraguado.	10.40pulg. Obtuvo una mezcla liquida, tiende a disgregarse y llegar al colapso, siendo una mezcla extremadamente húmeda y no recomendable.	1.26Pas.seg. Presenta una resistencia al flujo mínimo, pero siendo no aptas para su uso debido a que la mezcla presento una disgregación en el consolidado, con un cambio de color.	2449.58kg/m³. Mezcla consolidada en malas condiciones ya que poseía una consistencia más fluida e hizo que no existiera espacios vacíos e incremente su masa. Por consecuente no es óptimo para su uso.	0.99. Mezcla con trabajabilidad alta, la cual no se encuentra dentro de los parámetros recomendables, es importante decir que se produjo sedimentación y cambio de color en la mezcla y no resulta ser óptimo para su uso en la construcción.



Capítulo V: Discusión

1) ¿Los agregados fino y grueso de las canteras de Vicho, Cunyac y Huambutio utilizado en la investigación cumple con la granulometría según la norma NTP 400.012?

El agregado fino de Cunyac y Huambutio; no cumplían con los límites máximos y mínimos, según lo establecido en la norma NTP 400.012; debido a que, el agregado de la cantera de Cunyac poseía un material muy fino; por lo que, se combinó con el agregado de la cantera de Huambutio en proporciones de 50% respectivamente, dándonos resultados óptimos para el diseño de mezclas como se especifica en el procedimiento de análisis de datos y así poder cumplir con lo establecido en la norma. El agregado grueso de la cantera de Vicho tiene un tamaño máximo nominal de 3/4” el cual cumplió con los límites especificados en la norma NTP 400.012.

2) ¿El cemento Portland Yura IP afecta en las propiedades de trabajabilidad?

Según el EFNARC un contenido de aluminato tricálcico (C3A) superior al 10 % puede provocar problemas en la trabajabilidad del concreto y según la ficha técnica del cemento YURA Portland IP la composición del aluminato tricálcico (C3A) está entre 7 - 15% de la composición total. Teniendo un promedio de 11%, el cemento Portland Yura IP influye en la trabajabilidad del concreto, pero no en gran magnitud ya que la cantidad de aluminato tricálcico se encuentra cerca al límite máximo.

3) ¿El aditivo superplastificante Mapei SP1 tiene efecto positivo en la mejora de la trabajabilidad del concreto?

El aditivo superplastificante, tuvo un efecto positivo en la trabajabilidad, cuando se usó los porcentajes dentro de los límites indicados en las especificaciones del aditivo MAPEI SP1; por otro lado, en la investigación se obtuvo mejoras en la trabajabilidad con el aditivo superplastificante al 0.6% y 0.8%; mejorando la consistencia de las mezclas, en comparación al slump del diseño de mezclas; así mismo, se obtuvo mejoras con respecto a los ensayos de exudación, segregación, densidad, factor de compactación y viscosidad del concreto en estado fresco.



4) ¿Por qué no existe parámetros de segregación en las normas peruanas?

La segregación, forma parte de las propiedades reológicas en el estado fresco más importantes; debido a que, mediante controles de causas de segregación, se puede incrementar la calidad y resistencia del concreto; pero en la investigación de estas propiedades nos encontramos con la duda de que los rangos de segregación, son aceptables para poder obtener concretos de calidad; debido a que, en la norma NTP 339.218:2008, solo nos indica un porcentaje aproximado obtenido de un estudio; el mismo que, no especifica para que tipos de diseños de mezclas o que materiales se usaron para dicho resultado; Por lo que, se tuvo que recurrir a antecedentes históricos de otras investigaciones con respecto al tema, y poder obtener una referencia aproximada de los porcentajes de segregación, obtenidos con diseños de mezclas elaboradas con material del país; no obstante, en la presente investigación aportamos nuevos rangos de segregación estática del concreto, con materiales comerciales en la ciudad el Cusco.

5) ¿Por qué no es recomendable el uso del aditivo superplastificante Mapei SP1 en cantidades mayores a 1%?

El aditivo superplastificante, tuvo un efecto positivo en el diseño de mezclas con un concreto de asentamientos menores a 4 pulgadas y con dosificaciones menores a 1%; pero cuando se excedió este porcentaje el aditivo MAPEI SP1, ocasiona que las mezclas tengan un comportamiento negativo, para el concreto en estado fresco; el cual, se apreció a simple vista, las disgregaciones de sus componentes. Debido a la alteración en las densidades de la pasta cementantes como de sus agregados, fue difícil de homogenizar la mezcla; ya que, también los agregados empezaron a sedimentarse, ocasionando un fraguado acelerado, impidiendo o complicando el remezclado del concreto en estado fresco; por lo tanto, para detectar todo lo mencionado líneas arriba solo se debe notar el cambio de color de la mezcla; el mismo que, cambia de un color homogéneo gris a un color café claro cuando se excede las dosificación 1%.

6) ¿Qué diferencia encontramos con respecto a la viscosidad en base la tesis planteada en comparación al antecedente nacional N° 01?

La tesis “Desarrollo de concretos fluidos coloreados a reología adaptada, aplicados a la construcción de edificaciones de concreto en Lima”, nos da a conocer valores, para la



viscosidad de 10 mezclas (concreto de 210 kg/cm² – 420 kg/cm², usando cemento Sol tipo I, aditivo colorante Master Color, aditivo super plastificante Master Rheobuild 1000 y aditivo retardante Polyheed) estudiadas, se encuentran entre 4 Pa.s y 34 Pa.s con un promedio de 16 Pa.s y desviación estándar de 9; en comparación con la presente tesis que de 50 mezclas (concreto 210 kg/cm² usando cemento Yura Portland tipo IP y aditivo superplastificante Mapei Sp1), se encontraron valores, para la viscosidad de 1.26 Pa.s y 92.13 Pa.s con un promedio de 32.81 Pa.s. Concluyendo que las variaciones de viscosidad en ambas tesis difieren; debido a el tipo de material usado.

7) ¿Qué diferencia encontramos con respecto a la segregación y exudación en base la tesis planteada en comparación al antecedente nacional N°02?

La tesis “Influencia del aditivo superplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto, en la ciudad de Huancayo” nos da a conocer valores para la segregación de 9 mezclas estudiadas (concreto de 210 kg/cm², usando cemento Andino tipo I y aditivo superplastificante tipo F “RHEOBUILD VE), se encuentran entre 0 % y 14.10 %, en comparación con la presente tesis que de 50 mezclas (concreto 210 kg/cm², usando cemento Yura Portland Tipo IP y aditivo superplastificante Mapei Sp1), se encontraron valores, para la segregación min. de 5.95% y máx. 54.63% con un promedio de 19.29%; concluyendo que, las variaciones de segregación en ambas tesis difieren, debido a el tipo de material usado.

En lo que respecta a la exudación en la tesis del antecedente N°2, se encontraron valores min. de 0.25% y máx. de 2.57%; para dosis de aditivo superplastificante de 250 ml, experimenta un porcentaje exudación mínimo con respecto al concreto patrón; sin embargo, en la medida que se aumentan la dosis por encima de los 250 ml, el porcentaje de exudación aumenta, en comparación con la tesis donde se obtuvo valores min. de 0.88 y máx. de 7.02, donde observamos que en dosis de aditivo superplastificante menores del 1% experimenta un porcentaje de exudación mínimos con respecto al concreto patrón y con dosis por encima de 1% de aditivo superplastificante se observa que el porcentaje de exudación aumenta.



Glosario

Aditivos: Material generalmente usado en los diseños de mezclas con el fin de modificar, mejorar o impartir propiedades especiales a las mezclas de concreto.

Agua: Sustancia líquida sin olor, color ni sabor que se encuentra en la naturaleza en estado más o menos puro formando ríos, lagos y mares, ocupa las tres cuartas partes del planeta Tierra y forma parte de los seres vivos; está constituida por hidrógeno y oxígeno (H₂O).

Agregado: Material granular tal como la arena, grava, piedra molida, hormigón de cemento hidráulico molido o escoria de alto horno molida, empleando junto con un medio de cemento hidráulico para elaborar hormigón o mortero.

Agregado Fino: Material duro e inerte que se emplea para preparar hormigón o mortero que pasa por un tamiz de 4,76 mm. También llamado arena.

Agregado Grueso: Árido que queda retenido por un tamiz de 4,76 mm. También llamado grava.

Briqueta: Probeta moldeada de mortero con sus extremos agrandados y su centro reducido cuya sección transversal tiene un área definida; se usa para medir la resistencia a la tracción.

Cangrejeras: Espacios vacíos o de aires que se producen en los elementos de concreto por deficiencia o por exceso de vibrado.

Cemento portland: Cemento hidráulico que se produce pulverizando Clinker de cemento portland y que generalmente contiene sulfato de calcio.

Clinker: Parcialmente fundido compuesto fundamentalmente por silicatos de calcio hidráulicos.

Concreto autocompactable: Un Concreto Autocompactable (CAC), es aquel concreto que en estado plástico fluye y consolida por efecto de su propio peso (Gravedad), manteniendo su



homogeneidad sin segregación ni exudación ni exudación, durante y después de su transporte, distribución y colocación.

Cohesión: Propiedad del concreto que describe la facilidad o dificultad que tiene la pasta de cemento y la mezcla con los agregados, de atraerse para mantenerse como suspensión en el concreto, evitando la disgregación de los materiales. Esto debido al exceso de finos en la arena. A la fuerza de cohesión que es la atracción entre moléculas que mantiene unidas las partículas de una sustancia.

Columna: Elemento estructural prismático en concreto reforzado (concreto simple + acero de refuerzo) madera, acero, que soporta cargas de compresión y torsión a lo largo de su eje vertical. Estas permiten llevar las cargas transmitidas por las vigas a los cimientos o zapatas.

Compactación: Consiste en compactar material de relleno en un terreno determinado.

Concreto: es una mezcla de piedras, arena, agua y cemento que al solidificarse constituye uno de los materiales de construcción más resistente para hacer bases y paredes. Densidad 2200, 2400 K/m³.

Concreto armado: Se le da este nombre al concreto simple más el acero de refuerzo; básicamente cuando tenemos un elemento estructural que trabajará a compresión y a tracción (tensión). Ningún esfuerzo de tensión será soportado por el concreto, es por ello que se debe incluir un área de acero que nos asuma esta sollicitación, dicho valor se traducirá en el número de varillas y su diámetro, así como su disposición.

Cono de Abrahams: Elemento utilizado para medir el asentamiento del concreto.

Control: Comprobación, inspección, fiscalización, intervención.

Densidad: Masa por unidad de volumen.

Densidad aparente: Masa de un material (incluyendo sus partículas sólidas y cualquier agua que contenga) por unidad de volumen incluyendo vacíos.



Densidad (Seca): Más por unidad de volumen de una sustancia seca a una temperatura especificada.

Densidad saturada y superficialmente seca (SSS): Más del agregado saturado y superficialmente seco dividida por el volumen desplazado en agua u hormigón.

Diseño de mezcla: Proceso mediante el cual se proyecta el diseño de una determinada mezcla, para una resistencia determinada.

Dosificación: Selección de las proporciones de los elementos a fin de utilizar los materiales disponibles de la manera más económica posible para producir un mortero u hormigón con las propiedades requeridas.

Ensayo: Prueba, examen, observación o evaluación que se usa para medir una característica física o química de un material, o una característica física de una estructura o elemento estructural.

Exudación: exudación del agua de la mezcla, algunas veces esta agua sube a la superficie y debilita a la losa o escapa por los encofrados, llevando consigo algo de cemento.

Fraguado: Condición avanzada por una pasta cementicia, mortero u hormigón que ha perdido plasticidad hasta un nivel arbitrario, generalmente medido en términos de la resistencia a la penetración o deformación; fraguado inicial se refiere a la primera rigidización; fraguado final se refiere a una rigidez significativa; también, deformación remanente luego de retenida la tensión.

Hidratación: Formación de un compuesto por la combinación de agua con alguna otra sustancia; en el hormigón, reacción química entre el cemento hidráulico y el agua.

Material isotrópico: un material es isotrópico si sus propiedades mecánicas y térmicas son las mismas en todas las direcciones. Los materiales isotrópicos pueden tener una estructura microscópica homogénea o no homogénea. Por ejemplo, el acero muestra un comportamiento isotrópico, aunque su estructura microscópica no es homogénea. Son materiales cuya resistencia no depende de la dirección en la cual se aplican las cargas.



Mezcla en seco: Mezclar los materiales solidos del mortero u hormigón antes de añadir el agua.

Segregación: Concentración diferencial de los componentes de la masa de un hormigón.

Testigo: Probeta cilíndrica de hormigón endurecido.

Relación agua-cemento: Relación entre la cantidad de agua, excluyendo solamente aquella absorbida por los agregados, y la cantidad de cemento en un mortero, hormigón o pasta cementicia; preferentemente expresada en forma decimal y abreviada a/c.

Reología: la ciencia que estudia el flujo o desplazamiento de los materiales.

Vaciado: Acción de vaciar concreto.

Varilla: Corrugada es una barra de acero dúctil diseñada especialmente para construir elementos estructurales en una obra civil. Se utiliza como refuerzo del concreto debido a que la superficie cuenta con rebordes o corrugaciones que inhiben el movimiento longitudinal entre la varilla y el concreto que la rodea.

Vertido por gravedad: Vertido del hormigón realizado sin la ayuda de un elemento que lo canalice.



Conclusiones

Conclusión N°1:

Se logró comprobar parcialmente la hipótesis general que dice: “Las propiedades reológicas del concreto adicionado con aditivo superplastificante al 0.6% - 1.5% son mejores en comparación de un concreto patrón $f'c=210$ kg/cm² en la ciudad del Cusco.” Ya que, se logró una mejora parcial en las propiedades reológicas de estabilidad, movilidad y compactabilidad del concreto aditivado frente al concreto patrón; pese a que, los concretos con aditivo superplastificante al 1% y 1.5%, no presentan una mejora en las propiedades de estudio con respecto al concreto patrón, además se recomienda el uso del aditivo superplastificante Mapei SP1 en la dosis de 0.6% ya que se obtuvieron mejores resultados en todos los ensayos de la reología del concreto; la misma que, se indica en la Tabla 121: Resultados finales para la segregación del concreto, Tabla 122: Resultados finales para la exudación del concreto, Tabla 123: Resultados finales para el revenimiento del concreto, Tabla 124: Resultados finales para la viscosidad del concreto, Tabla 125: Resultados finales para la densidad del concreto y Tabla 126: Resultados finales para el factor de compactación del concreto.

Conclusión N°2:

Se logró comprobar parcialmente la sub hipótesis N°1 que dice: “El concreto con aditivo superplastificante al 0.6% - 1.5%, presenta una mejor estabilidad que el concreto patrón $f'c=210$ kg/cm², con respecto a la segregación y exudación en la ciudad del Cusco.”; debido a que los resultados de los ensayos para determinar la segregación estática indicado en la Tabla 121: Resultados finales para la segregación del concreto, da a conocer que el concreto con aditivo superplastificante al 0.6% tiene una baja segregación en comparación, con el concreto patrón; así mismo, la Tabla 122: Resultados finales para la exudación del concreto, da a conocer que el concreto aditivado con superplastificante al 0.6% y 0.8%, tiene una exudación menor en comparación al concreto patrón, además se concluye que el uso del aditivo superplastificante en la dosis 0.6% es la más óptima para su uso con respecto a la propiedad de estabilidad del concreto en estado fresco.



Conclusión N°3:

Se logró comprobar parcialmente la sub hipótesis N°2 que dice: “El concreto con aditivo superplastificante al 0.6% - 1.5%, presenta una mejor movilidad que el concreto patrón $f'c=210$ kg/cm², con respecto a la viscosidad y cohesión en la ciudad del Cusco.”; debido a que los resultados de los ensayos, para determinar la cohesión del concreto indicado en la Tabla 123: Resultados finales para el revenimiento del concreto, da a conocer que el concreto aditivado con superplastificante del 0.6% - 1.5% tiene un índice de aumento en el asentamiento progresivamente en comparación con el concreto patrón; así mismo, la Tabla 124: Resultados finales para la viscosidad del concreto, da a conocer que el concreto aditivado con superplastificante al 0.6% y 0.8% tiene una mejor viscosidad con una fluencia media en comparación con el concreto patrón que presenta un viscosidad con una fluencia muy baja y además se concluye que el uso del aditivo superplastificante en la dosis 0.6% es la más óptima para su uso con respecto a la propiedad de movilidad del concreto en estado fresco.

Conclusión N°4:

Se logró comprobar parcialmente la sub hipótesis N°3 que dice: “El concreto con aditivo superplastificante al 0.6% - 1.5%, presenta un mejor compactabilidad que el concreto patrón $f'c=210$ kg/cm², con respecto a la densidad y factor de compactación en la ciudad del Cusco.”; debido a que los resultados de los ensayos, para determinar la densidad indicado en la Tabla 125: Resultados finales para la densidad del concreto, da a conocer que el concreto aditivado con superplastificante al 0.6% - 1.5% tiene una mejor densidad en comparación con el concreto patrón. Así mismo, la Tabla 126: Resultados finales para el factor de compactación del concreto, da a conocer que el concreto aditivado con superplastificante al 0.6% -1.5 % tiene un factor de compactación mayor, para altas trabajabilidades en comparación con el concreto patrón y además se concluye que el uso del aditivo superplastificante en la dosis 0.6% es la más óptima para su uso con respecto a la propiedad de compactabilidad del concreto en estado fresco.



Recomendaciones

Recomendación N°1.- Se recomienda el uso de aditivos superplastificantes, fabricado por diversas empresas; con el fin de mejorar las propiedades reológicas del concreto, para la implementación, en la ciudad del Cusco.

Recomendación N°2.- Se recomienda la aplicación en otras investigaciones del aditivo superplastificante MAPEI SP1; teniendo en cuenta, las características técnicas que menciona el fabricante; los que son: reducir el agua del concreto no aditivado manteniendo la misma trabajabilidad, para reducir el agua y el cemento de manera que la relación agua/cemento quede inalterada; así como, la trabajabilidad respecto al concreto no aditivado.

Recomendación N°3.- Para la selección de la dosis óptima del aditivo superplastificante a ser empleada en las mezclas de concreto; se recomienda el uso de la dosis 0.6% y 0.8% en función al peso del cemento, en lo que respecta a la trabajabilidad del concreto.

Recomendación N°4.- El empleo de dosis del aditivo superplastificante MAPEI SP1 superiores a 1% en métodos de diseño de mezclas convencionales (ACI 211.1, módulo de fineza y agregado global); origina un alto grado de segregación; por lo que, no es recomendable, pero para contrarrestar tal efecto, se pueden sustituir estos métodos por el diseño de concreto autocompactante; experimentando diferentes relaciones, agua/cemento; hasta encontrar una óptima mezcla.

Recomendación N°5.- Se recomienda el uso de un reómetro rotacional, para futuras investigaciones de la reología del concreto; aconsejando a la Universidad Andina del Cusco la adquisición de equipos, para el estudio de la reología del concreto como: viscosímetro o reómetro.

Recomendación N°6.- Se recomienda el estudio de las propiedades en estado endurecido del concreto; con diferentes dosis planteadas de aditivo superplastificante; reduciendo en agua el concreto no aditivado; manteniendo la misma trabajabilidad de manera que la relación agua/cemento quede inalterada; así, como la trabajabilidad respecto al concreto no aditivado.



Recomendación N°7.- Se recomienda la comparación de agregados de diversas canteras, en el diseño de mezclas; con el fin, de observar si mejoran las propiedades reológicas del concreto.

Recomendación N°8.- Se recomienda el uso de diferentes tipos de cemento Portland; para realizar un análisis, poder encontrar una mejor resistencia a la compresión y mejores propiedades reológicas del concreto; con la finalidad de optimizar la trabajabilidad.

Recomendación N°9.- En el ensayo de exudación se recomienda, utilizar otros tipos de diseño de mezclas, para menores y mayores resistencias a la compresión; con el propósito de comparar y observar, cómo se comporta el concreto en el ensayo mencionado, de modo que obtengamos más parámetros en la exudación del concreto en estado fresco.

Recomendación N°10.- Se recomienda realizar el ensayo de exudación, según el método de ensayo B (muestra consolidada por vibrado); con la finalidad de realizar comparaciones entre el método A (muestra consolidada por varillado) de la norma NTP 339.077; de manera que, se llegara a una conclusión de cual tiene un mejor comportamiento en el ensayo de exudación del concreto.

Recomendación N°11.- Se recomienda el uso del concreto en las dosificaciones, $f'c=210$ kg/cm²; al 0.6% y 0.8%, porque presenta una buena relación en referencia a la masa/volumen aparente de las partículas; el cual, brinda una mejor densidad y la menor porosidad; con la finalidad de impedir reacciones de las sales existentes, asegurando una durabilidad aceptable y satisfactoria.

Recomendación N°12.- De acuerdo a los resultados obtenidos, para el ensayo de densidad del concreto los cuales fueron de un rango de 2.3 tn/m³ - 2.4 tn/m³ se recomienda el uso de acuerdo a la clasificación de concreto según su densidad de los autores Schmitt y Heene donde nos brinda rangos de los concretos normales de 2 tn/m³ - 2.8 tn/m³ como máximo.

Recomendación N°13.- Se recomienda realizar futuras investigaciones con respecto al ensayo densidad del concreto en estado fresco, ya que la NTP 339.046 nos brinda un cuadro de capacidad del recipiente a medida de 6L a 100L, en función al tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso, con la finalidad de realizar futuras comparaciones y llegar a conclusiones en función a la densidad del concreto.



Recomendación N°14.- Se recomienda utilizar las proporciones del diseño de mezclas con el propósito de realizar un estudio del concreto en estado endurecido, debido a que el $f'c=210$ que se utilizó en la investigación fue una referencia para realizar el diseño de mezclas y los ensayos de las propiedades reológicas del concreto en estado fresco.



Referencias

- Domingo, A. M. (2006). *Apuntes de Mecánica de Fluidos*. España: Edit. Creative Commons Pág. 08.
- Abanto, F. (2005). *Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas)*. Lima -Perú: 1er Edición. Edit. San Marcos. Pág. 11.
- Comité Internacional de Expertos del Cemento, P. (2018). <https://es.scribd.com>. Recuperado el 27 de Agosto de 2018, de <https://es.scribd.com>: <https://es.scribd.com/doc/24863679/Composicion-Quimica-Del-Cemento>
- Hernández, I. J. (2010). *Tecnología del concreto Tomo 1. Materiales, propiedades y diseño de mezclas*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Productores de Concreto, Asocreto.
- <http://www.asocem.org.pe>. (s.f.). <http://www.asocem.org.pe>. Recuperado el 15 de Agosto de 2018, de <http://www.asocem.org.pe>: <http://www.asocem.org.pe/productos-a/los-cementos-adicionados-en-el-peru>
- <https://civilgeeks.com/2011/12/08/caracterizas-fisicas-de-los-agregados/>. (s.f.). Obtenido de <https://civilgeeks.com/2011/12/08/caracterizas-fisicas-de-los-agregados/>.
- <https://civilgeeks.com/2011/12/11/propiedades-principales-del-concreto/>. (2017). Recuperado el 10 de septiembre de 2018, de <https://civilgeeks.com>: <https://civilgeeks.com/2011/12/11/propiedades-principales-del-concreto/>
- <https://civilread.com/concrete-compaction-factor-test/>. (s.f.).
- <https://es.slideshare.net/NaydiChingaGarcia/propiedades-del-concreto-53937506>. (s.f.).
- https://per.sika.com/content/peru/main/es/solutions_products/publicaciones/articulos-tecnicos/que-es-reologia-concreto-construccion/aplicacion-reologia-concreto-construccion.html. (s.f.). Obtenido de <https://per.sika.com/>.
- https://theconstructor.org/concrete/compaction-factor-test/1565/#Procedure_of_Compaction_Factor_Test_on_Concrete. (s.f.).
- <https://www.arqhys.com>. (s.f.). <https://www.arqhys.com>. Recuperado el 31 de Julio de 2018, de <https://www.arqhys.com>: <https://www.arqhys.com/construccion/concreto-fraguado.html>
- <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>. (s.f.). Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/>.



- MAPEI. (s.f.). *www.mapei.com*. Obtenido de *www.mapei.com*: http://www.mapei.com/public/ES/products/671_dynamon%20sp1_es.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Recuperado el 2019
- MVCS & SENCICO. (2009). *Norma E-060 "Concreto Armado"*.
- Niño Hernández, J. (2011). *Tecnología del concreto tomo 1*.
- Pasquel, E. (noviembre 1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*. Lima Perú: 2da Edición. Colegio de Ingenieros del Perú - Consejo Nacional. Pág. 129.
- Portugal Barriga, P. (2007). *Tecnología del Concreto de alto desempeño*.
- Portugal Barriga, P. A. (2003). Reología del concreto. *XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil*.
- Prof. Winter, G., & Nilson, A. (2005). *Proyecto de Estructuras de Hormigón*. Barcelona, España: Edit. Reverte 1ra. Edición Pág. 06.
- Rivva, E. (diciembre 2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Lima, Perú: Primera Edición. Capitulo peruano ACI. II Congreso de Estructuras y Construcción. Pág. 08.
- Rivva, E. (diciembre 2008). Lima, Perú: 1era Edición Instituto de la Construcción y Gerencia ICG. Pág. 07.
- *www.chema.com.pe*. (s.f.). *www.chema.com.pe*. Recuperado el 16 de Agosto de 2018, de *www.chema.com.pe*: <http://www.chema.com.pe/marcas/chema/chema-megaplast-1000-m.html>
- Moreno Botella, R., 2005. Reología de suspensiones cerámicas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). 328. ISBN: 84-00-08322-9.
- Macosko, Ch. W., 1994. Rheology: principales, measurements, and applications. Wiley-VCH Publishers, New York.
- Portugal Barriga, P. A. (2003). Reología Del Concreto. XIV Congreso Nacional De Ingeniería Civil.
- Barnes, H.A., Hutton, J.F. and Walters, K., 1989. An introduction to rheology. Elsevier Science Publishing Company INC., New York.
- Zerbino, R., Barragán, B., Agulló, L., García, T. & Gettu, R. 2006. Reología de hormigones autocompactable. *Ciencia y Tecnología del Hormigón*.
- Comisión Federal de Electricidad (1994): Manual de Tecnología del Concreto, Instituto de Ingeniería UNAM, México Sección 1.



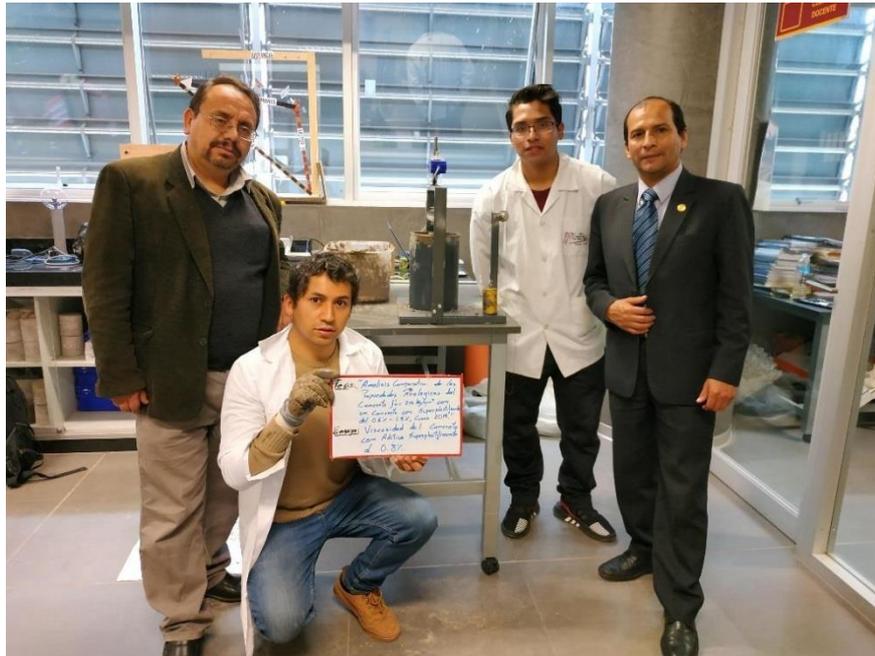
- Ing. Pasquel Carbajal, E. (noviembre 1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*. Lima Perú: 2da Edición. Colegio de Ingenieros del Perú - Consejo Nacional. Pag. 129.
- ACI Committee 309 (1987): “Guide for Consolidation of Concrete”, American Concrete Institute, Detroit, Mich.
- Hernández, I. J. (2010). *Tecnología del concreto Tomo 1. Materiales, propiedades y diseño de mezclas*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Productores de Concreto, Asocreto.
- ASTM Designation C143/C143M-00: “Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- NTP 339.218. (2008). Método de ensayo normalizado para la segregación estática del hormigón (concreto) autocompactante. Ensayo de columna. Lima, Perú: Indecopi.
- NTP 339.077. (2003). Métodos de ensayo normalizado para la exudación del hormigón (concreto). Lima, Perú: Indecopi.
- Roussel, N., 2012-a. Understanding the rheology of concrete. Woodhead Publishing Limited, Oxford.
- Moreno Botella, R., 2005. Reología de suspensiones cerámicas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). 328. ISBN: 84-00-08322-9.
- Banfill, P.F.G., 2003. The rheology of fresh cement and concrete. A review. Proc. XI International Congress on the Chemistry of Cement. Durban, South Africa, 50-62.
- Palacios, M., 2006-a. Empleo de aditivos orgánicos en la mejora de las propiedades de cementos y morteros de escoria activada alcalinamente. PhD Tesis, UAM, Spain.
- Palacios M., Banfill P.F.G. and Puertas F., 2008. Rheology and setting behavior of alkaliactivated slag pastes and mortars: Effect of organic admixture. *ACI Materials Journal*, 105, 140-148.
- Barnes, H.A., Hutton, J.F. and Walters, K., 1989. An introduction to rheology. Elsevier Science Publishing Company INC., New York.
- Tanner, R.I. and Walters, K., 1998. Rheology: An Historical Perspective. Elsevier Science Publishing Company INC., New York.
- Moreno Botella, R., 2005. Reología de suspensiones cerámicas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). 328. ISBN: 84-00-08322-9.
- IS 1199:1959 Methods of Sampling and Analysis of Concrete (Eleventh revision). Reaffirmed- Dec 2013.



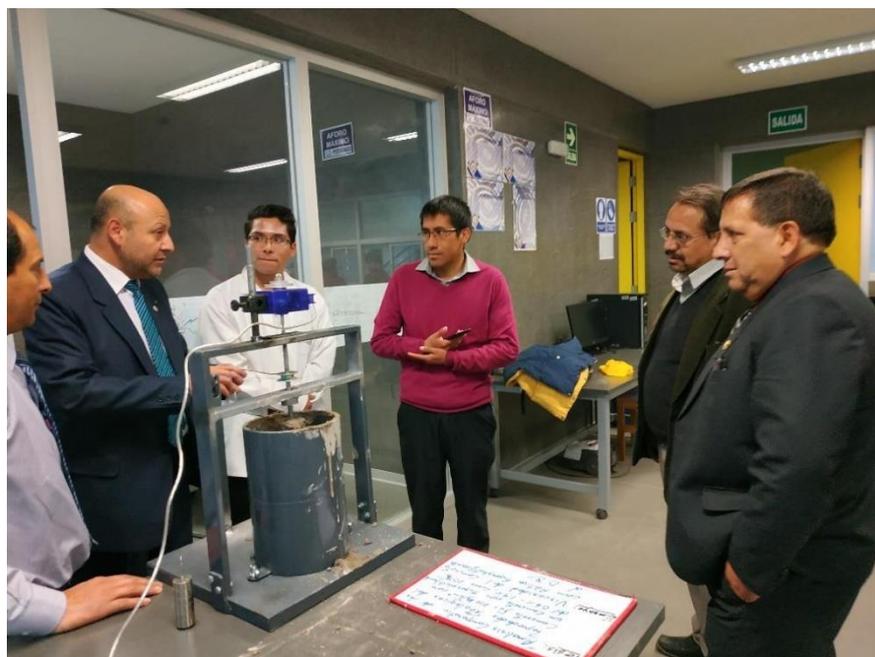
Anexos

Panel Fotográfico

Fotografía 01: Supervisión de nuestro asesor Mg. Ing. Jorge Álvarez y Lic. Fis. Rolando Lozano en las pruebas de viscosidad del concreto.



Fotografía 02: Visita del coordinador y el jefe de departamento de la facultad de Ingeniería Civil en la prueba de viscosidad del concreto.





Fotografía 03: Ensayo de viscosidad de concreto patrón en un estado seco con ayuda del viscosímetro de cilindros concéntricos adaptado al concreto en Laboratorio de física.



Fotografía 04: Ensayo de viscosidad del concreto aditivado con superplastificante del 0.6% - 1.5% con ayuda del viscosímetro de cilindros concéntricos adaptado al concreto en Laboratorio de física.

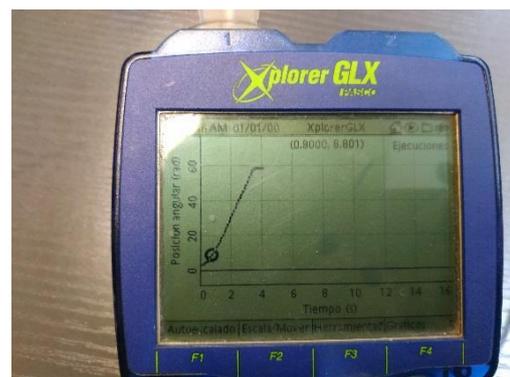
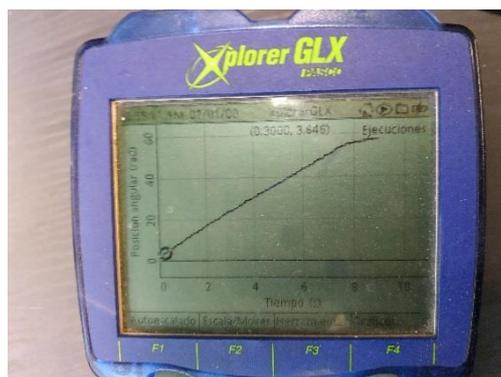
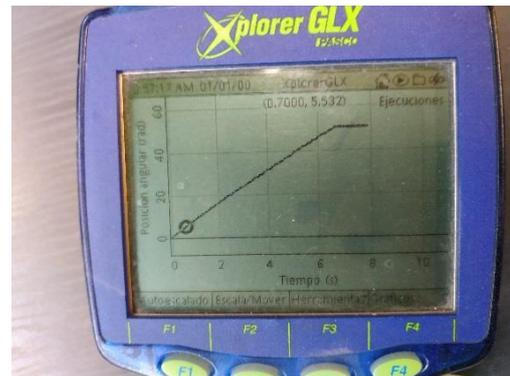
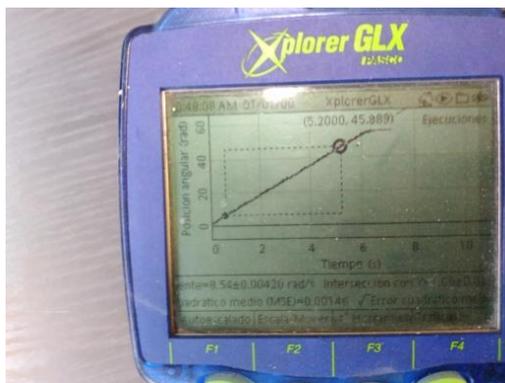




Fotografía 05: Sedimentación de las partículas gruesas de la mezcla en el ensayo de viscosidad de concreto aditivado con superplastificante al 1.5% debido a la alta dosis de aditivo lo que ocasiona una alteración de las densidades en los componentes de la mezcla.



Fotografía 06: Recolección de datos con ayuda del equipo Xplorer GLX de las muestras de concreto en estado fresco para el análisis de datos de la viscosidad.





Fotografía 07: Diferencia de asentamientos del concreto patrón respecto a concreto con aditivo superplastificante en dosis de 0.6% - 1.5%.

Concreto patrón



Concreto + A.S. 0.6%



Concreto + A.S. 0.8%



Concreto + A.S. 1%



Concreto + A.S. 1.5%





Fotografía 08: Muestras de exudación del concreto patrón respecto a concreto con aditivo superplastificante en dosis de 0.6% - 1.5%.

Concreto + A.S. 0.6% - 0.8%



Concreto + A.S. 1.5%



Fotografía 09: Proceso de caída por gravedad en el ensayo de factor de compactación del concreto.





Análisis de Precios Unitarios con respecto a materiales por metro cúbico de concreto

Los precios mencionados en el análisis de costos de los materiales, fueron tomados por cotización de tres empresas diferentes, tomando el promedio de estos referidos al mes de diciembre de 2019. No se consideró el precio de mano de obra y herramientas debido a que para ser considerados es necesario tener un rendimiento, lo cual no es posible debido a la falta de obras con concreto superplastificante en la región del Cusco.

ANALISIS DE PRECIOS POR M3 DEL CONCRETO 210 KG/CM2				
Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
Materiales				
Cemento Portland tipo IP	bls	8.660	24.00	207.84
Agregado fino Huambitio	kg	0.306	50.00	15.31
Agregado fino Cunyac	kg	0.306	110.00	33.67
Agregado grueso Vicho	kg	1.085	50.00	54.25
Agua	lt	0.193	2.00	0.39
TOTAL:				S/ 311.45

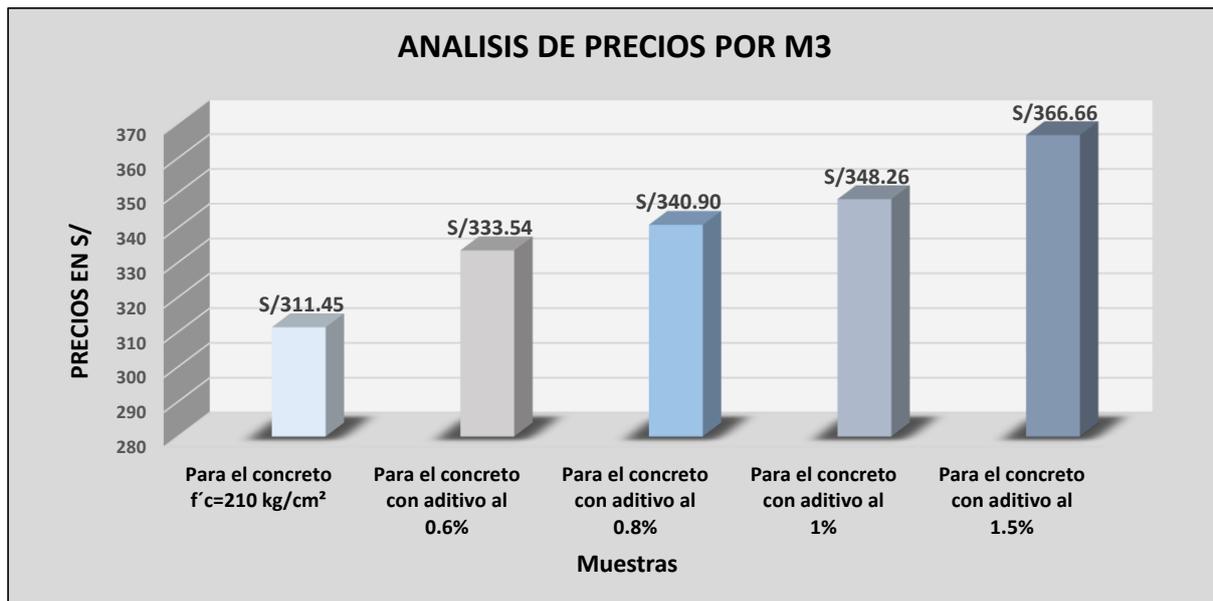
ANALISIS DE PRECIOS POR M3 DEL CONCRETO 210 KG/CM2 + ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE AL 0.6%				
Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
Materiales				
Cemento Portland tipo IP	bls	8.660	24.00	207.84
Agregado fino Huambitio	kg	0.306	50.00	15.31
Agregado fino Cunyac	kg	0.306	110.00	33.67
Agregado grueso Vicho	kg	1.085	50.00	54.25
Agua	lt	0.193	2.00	0.39
Aditivo Superplastificante	lt	2.208	10.00	22.08
TOTAL:				S/ 333.54

ANALISIS DE PRECIOS POR M3 DEL CONCRETO 210 KG/CM2 + ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE AL 0.8%				
Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
Materiales				
Cemento Portland tipo IP	bls	8.660	24.00	207.84
Agregado fino Huambitio	kg	0.306	50.00	15.31
Agregado fino Cunyac	kg	0.306	110.00	33.67
Agregado grueso Vicho	kg	1.085	50.00	54.25
Agua	lt	0.193	2.00	0.39
Aditivo Superplastificante	lt	2.944	10.00	29.44
TOTAL:				S/ 340.90



ANALISIS DE PRECIOS POR M3 DEL CONCRETO 210 KG/CM2 + ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE AL 1%				
Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
Materiales				
Cemento portland tipo IP	bls	8.660	24.00	207.84
Agregado fino Huambitio	kg	0.306	50.00	15.31
Agregado fino Cunyac	kg	0.306	110.00	33.67
Agregado grueso Vicho	kg	1.085	50.00	54.25
Agua	lt	0.193	2.00	0.39
Aditivo Superplastificante	lt	3.680	10.00	36.80
TOTAL:				S/ 348.26

ANALISIS DE PRECIOS POR M3 DEL CONCRETO 210 KG/CM2 + ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE AL 1.5%				
Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
Materiales				
Cemento Portland tipo IP	bls	8.660	24.00	207.84
Agregado fino Huambitio	kg	0.306	50.00	15.31
Agregado fino Cunyac	kg	0.306	110.00	33.67
Agregado grueso Vicho	kg	1.085	50.00	54.25
Agua	lt	0.193	2.00	0.39
Aditivo Superplastificante	lt	5.521	10.00	55.21
TOTAL:				S/ 366.66



Análisis: De acuerdo al gráfico de barras de análisis de costos por m³, se observa un alza progresiva en cuanto a los costos del concreto aditivado, debido a la cantidad del mismo a esto los testistas recomiendan el uso de aditivo superplastificante MAPEI SP1 en cantidades 0.6% respecto al peso del cemento, ya que presentan valores óptimos en las propiedades reológicas del concreto, dentro del margen estudiado que corresponde al incremento de la trabajabilidad respecto al concreto no aditivado con la misma relación agua/cemento.



Análisis de Costos por Ensayo

ANALISIS DE COSTO UNITARIO COMPACTABILIDAD					1433.33
ENSAYO DE FACTOR DE COMPACTACION		COSTO UNITARIO			1165.70
Descripcion Insumo	Unidad	Repeticiones	Cantidad	Precio	Parcial
Mano obra					
Materiales					
			1		
Cemento	kg	50	6	0.56	168.00
Agregado fino H	kg	50	4.68	0.05	10.53
Agregado fino C		50	4.68	0.11	24.80
Agregado grueso	kg	50	17.46	0.05	39.29
Agua	lt	50	3.12	0.83	129.48
Adit. Superplastif. 0.6% - 1.5%	gr	40	0.234	10.00	93.60
					465.70
Equipos					
Factor de compactacion	und			700	700.00
ENSAYO DE DENSIDAD					267.63
ENSAYO DE DENSIDAD		COSTO UNITARIO			267.63
Descripcion Insumo	Unidad	Repeticiones	Cantidad	Precio	Parcial
Mano obra					
Materiales					
			1		
Cemento	kg	50	2	0.56	56.00
Agregado fino H	kg	50	1.56	0.05	3.51
Agregado fino C		50	1.56	0.11	8.27
Agregado grueso	kg	50	5.82	0.05	13.10
Agua	lt	50	1.04	0.83	43.16
Adit. Superplastif. 0.6% - 1.5%	lt	40	0.234	10.00	93.60
					217.63
Equipos					
RECIPIENTE	und			70	50.00
ANALISIS DE COSTO UNITARIO ESTABILIDAD					1209.73
ENSAYO DE COLUMNA DE SEGREGACION		COSTO UNITARIO			899.73
Descripcion Insumo	Unidad	Repeticiones	Cantidad	Precio	Parcial
Mano obra					
Materiales					
			1		
Cemento	kg	40	10	0.56	224.00
Agregado fino H	kg	40	7.8	0.05	14.04
Agregado fino C		40	7.8	0.11	33.07
Agregado grueso	kg	40	29.1	0.05	52.38
Agua	lt	40	5.2	0.83	172.64
Adit. Superplastif. 0.6% - 1.5%	lt	40	0.234	10.00	93.60
					589.73
Equipos					
MOLDE TIPO COLUMNA	und			310	310.00
ENSAYO DE EXUDACION					540.51
ENSAYO DE EXUDACION		COSTO UNITARIO			540.51
Descripcion Insumo	Unidad	Repeticiones	Cantidad	Precio	Parcial
Mano obra					
Materiales					
			1		
Cemento	kg	40	8	0.56	179.20
Agregado fino H	kg	40	6.24	0.05	11.23
Agregado fino C		40	6.24	0.11	26.46
Agregado grueso	kg	40	23.28	0.05	41.90
Agua	lt	40	4.16	0.83	138.11
Adit. Superplastif. 0.6% - 1.5%	lt	40	0.234	10.00	93.60
					490.51
Equipos					
RECIPIENTE DE EXUDACION	und			120	50.00



ANALISIS DE COSTO UNITARIO MOVILIDAD						964.11	
ENSAYO DE COHESION						COSTO UNITARIO	192.83
Descripcion Insumo	Unidad	Repeticiones	Cantidad	Precio	Parcial		
Mano obra							
Materiales						1	
Cemento	kg	40	2	0.56	44.80		
Agregado fino H	kg	40	1.56	0.05	2.81		
Agregado fino C		40	1.56	0.11	6.61		
Agregado grueso	kg	40	5.82	0.05	10.48		
Agua	lt	40	1.04	0.83	34.53		
Adit. Superplastif. 0.6% - 1.5%	lt	40	0.234	10.00	93.60		
						192.83	
Equipos							
CONO DE ABRAMS	und				0	0.00	
ENSAYO DE VISCOSIDAD						771.28	
COSTO UNITARIO							
Descripcion Insumo	Unidad	Repeticiones	Cantidad	Precio	Parcial		
Mano obra							
Materiales						1	
Cemento	kg	40	6	0.56	134.40		
Agregado fino H	kg	40	4.68	0.05	8.42		
Agregado fino C		40	4.68	0.11	19.84		
Agregado grueso	kg	40	17.46	0.05	31.43		
Agua	lt	40	3.12	0.83	103.58		
Adit. Superplastif. 0.6% - 1.5%	lt	40	0.234	10.00	93.60		
						391.28	
Equipos							
RECIPIENTE DE EXUDACION	und				380	380.00	

RESUMEN DE COSTOS POR ENSAYOS:	
COSTO PARCIAL ENSAYOS DE COMPACTABILIDAD	S/ 1,433.33
COSTO PARCIAL ENSAYOS DE ESTABILIDAD	S/ 1,209.73
COSTO PARCIAL ENSAYOS DE MOVILIDAD	S/ 964.11
COSTO TOTAL DE ENSAYOS:	S/ 3,607.17



MATRIZ DE CONSISTENCIA



TITULO : "ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DEL CONCRETO F'c=210 KG/CM2 CON UN CONCRETO CON SUPERPLASTIFICANTE AL 0.6% - 1.5%, CUSCO 2018"								
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN	VARIABLES	INDICADOR	INSTRUMENTO METODOLOGICO	INSTRUMENTO DE INGENIERIA
¿Cuál es el analisis comparativo de las propiedades reológicas en un concreto f'c=210 kg/cm2 con un concreto con superplastificante al 0.6% - 1.5% en la ciudad del Cusco?	Analizar comparativamente las propiedades reológicas en un concreto f'c=210 kg/cm2 con un concreto con superplastificante al 0.6% - 1.5% en la ciudad del Cusco.	Las propiedades reologicas del concreto adicionado con aditivo superplastificante al 0.6% - 1.5% son mejores en comparación con un concreto f'c=210 kg/cm2 en la ciudad del Cusco.	VARIABLE INDEPENDIENTE					
			X1: Concreto	El concreto es una mezcla adecuadamente dosificada, de cemento, agua y agregados finos y gruesos.	Cemento Portland Tipo IP	Bls	Hojas electrónicas y Hojas electrónicas	Diseño de mezclas, Fichas de laboratorio, Balanzas
					Agregado Grueso	m3	Hojas electrónicas y Hojas electrónicas	Diseño de mezclas, Fichas de laboratorio, Balanzas
					Agregado Fino	m3	Hojas electrónicas y Hojas electrónicas	Diseño de mezclas, Fichas de laboratorio, Balanzas
					Agua	Lts	Hojas electrónicas y Hojas electrónicas	Diseño de mezclas, Fichas de laboratorio, Balanzas
X2: Aditivo Superplastificante	Consiste en un líquido especial que le da al concreto características como incremento de trabajabilidad, gran estabilidad, alta fluidez y reduce la relación agua/cemento.	Aditivo Superplastificante Dynamon SP1 del 0.6% - 1.5%	%	Hojas electrónicas y Hojas electrónicas	Diseño de mezclas, Fichas de laboratorio, Balanzas			
Nº	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	SUB HIPÓTESIS	VARIABLES DEPENDIENTES				
1	¿Cuál es la variación de la estabilidad de un concreto f'c=210 kg/cm2 en comparación a un concreto con superplastificante al 0.6% - 1.5% con respecto a la segregación y exudación en la ciudad del Cusco?	Determinar la estabilidad de un concreto f'c=210 kg/cm2 en comparación a un concreto con superplastificante al 0.6% - 1.5% con respecto a la segregación y exudación en la ciudad del Cusco.	El concreto con aditivo superplastificante al 0.6% - 1.5% presenta una mejor estabilidad que el concreto f'c=210 kg/cm2 con respecto a la segregación y exudación en la ciudad del Cusco.	Estabilidad	Segregación (%)	Fichas de recolección Tablas de resultados (NTP 339.218)	Molde tipo columna	
					Exudación (%)	Fichas de recolección Tablas de resultados (NTP 339.077)	Recipiente cilindrico de exudacion	
2	¿Cuál es la variación de la movilidad de un concreto f'c=210 kg/cm2 en comparación a un concreto con superplastificante al 0.6% - 1.5% con respecto a la viscosidad y cohesión en la ciudad del Cusco?	Determinar la movilidad de un concreto f'c=210 kg/cm2 en comparación a un concreto con superplastificante al 0.6% - 1.5% con respecto a la viscosidad y cohesión en la ciudad del Cusco.	El concreto con aditivo superplastificante al 0.6% - 1.5% presenta una mejor movilidad que el concreto f'c=210 kg/cm2 con respecto a la viscosidad y cohesión en la ciudad del Cusco.	Y1: Reologia del concreto	La reologia es la ciencia del flujo y deformación de la materia del concreto la cual estudia las propiedades del concreto en estado fresco como la Estabilidad, Movilidad y Compactacion. Es una ciencia relativamente nueva.	Cohesión (pulg)	Fichas de recolección Tablas de resultados (ASTM C 143)	Cono de abrams
						Viscosidad (Pas.seg)	Fichas de recolección Tablas de resultados (Viscosimetro de Cilindros Concentricos)	Viscosimetro de cilindros concentricos (Coutte)
	¿Cuál es la variación de la compactabilidad de un concreto f'c=210 kg/cm2 en comparación a un concreto con superplastificante al 0.6% - 1.5% con respecto a la densidad y factor de compactación en la ciudad del Cusco?	Determinar la compactabilidad de un concreto f'c=210 kg/cm2 en comparación a un concreto con superplastificante al 0.6% - 1.5% con respecto a la densidad y factor de compactación en la ciudad del Cusco.	El concreto con aditivo superplastificante al 0.6% - 1.5% presenta un mejor compactabilidad que el concreto f'c=210 kg/cm2 con respecto a la densidad y factor de compactación en la ciudad del Cusco.			Densidad (Kg/m3)	Fichas de recolección Tablas de resultados (NTP 339.046)	Recipiente cilindrico de medida
						Factor de compactacion (kg/kg)	Fichas de recolección Tablas de resultados (BS 1881-103)	Aparato de factor de compactacion