

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE MATERIALES MUY FINOS
DE LOS AGREGADOS EN LA RESISTENCIA A
COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

LUIS MATÍAS TEJADA ARIAS

ASESOR:

M. en Ing. HÉCTOR ALBARINO PÉREZ LOAYZA

CAJAMARCA - PERÚ

2013

Dedico este trabajo con mucho agradecimiento y cariño a mis abuelos Matías (Q.D.D.G), Carmen, Antonio (Q.D.D.G) y Carmela (Q.D.D.G), que son para mí ejemplos de sencillez y perseverancia. A mis padres Toribio y Felícitas por formarme en valores y alentarme siempre a la superación. A mis hermanos Antonio, Luis Antonio (Q.D.D.G) y Cristian por el apoyo mutuo que siempre nos hemos brindado.

Matías

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Cajamarca y a sus docentes que formaron mi carrera profesional.

De manera especial al M. en Ing. Héctor Pérez Loayza, asesor de esta tesis, quien con su experiencia profesional guió la elaboración de este trabajo.

Al Comité del Jurado del presente trabajo por las sugerencias y revisiones realizadas.

A mis tíos Alberto Tejada, Jorge Tejada y Norbil Tejada por el apoyo brindado en el proceso de estudios de mi carrera profesional.

A mis tíos Manuel Abanto, Elí Abanto, Zoila Abanto y Miguel Arias por el apoyo brindado durante mis estudios profesionales.

A Ericka por el apoyo y comprensión durante la elaboración de este trabajo.

A mis amigos y compañeros de aulas con quienes compartí muchas gratas experiencias durante el desarrollo de nuestra carrera profesional, de forma especial a Manuel, Emilio, Guillermo y Jonathan.

A todas las personas quienes colaboraron de diferentes maneras para la elaboración de este trabajo.

Matías

INDICE

Título:

**“Estudio de la influencia de materiales muy finos de los agregados en la
resistencia a compresión del concreto”**

	Página
ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	vi
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	viii
SUMARY.....	ix
RESUMEN.....	x
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.Problema de investigación.....	1
1.1.1.Antecedentes.....	1
1.1.2.Planteamiento y formulación del problema de investigación.....	3
1.1.3.Formulación del problema.....	4
1.2.Hipótesis de Investigación.....	4
1.3.Objetivos de la investigación.....	5
1.4.Alcances.....	6
1.5.Características locales.....	7
1.6.Justificación de la investigación.....	7
1.7.Delimitaciones y limitaciones de la investigación.....	8
1.7.1.Delimitaciones.....	8
1.7.2.Limitaciones.....	8
1.8.Tipo de investigación.....	9
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1.El	
concreto.....	10
2.1.1.Definición del concreto.....	10
2.1.2.La pasta de concreto.....	11
2.1.3.El gel de la pasta.....	12
2.1.4.Porosidad de la pasta.....	13
2.2.El cemento Portland.....	16
2.2.1.Clasificación del cemento portland.....	17
2.2.2.Características físicas y químicas del cemento Portland tipo I.....	18
2.2.2.1.Peso específico del cemento Portland.....	18
2.2.2.2.Fineza del cemento Portland.....	18
2.2.2.3.Fraguado.....	19
2.2.2.4.Resistencias mecánicas.....	20
2.2.2.5.Retracción y expansión.....	20
2.2.2.6.Calor de hidratación.....	21
2.2.2.7.Estabilidad de volumen.....	21
2.3.Agua de mezcla y agua de curado.....	22

2.3.1.Requisitos de calidad del agua.....	22
2.4.Los agregados para el concreto.....	24
2.4.1.Clasificación de los agregados.....	24
2.4.2.Funciones del agregado.....	25
2.4.3.Interrelación agregado-concreto.....	25
2.4.4.Partículas perjudiciales en los agregados.....	28
2.4.4.1.Partículas perjudiciales en el agregado fino.....	28
2.4.4.2.Partículas perjudiciales en el agregado grueso.....	28
2.5.Materiales Muy Finos de los Agregados o Material que pasa la Malla N°200 (MMF).....	29
2.5.1.El limo como Material Muy Fino en los agregados para el concreto.....	30
2.5.2.La arcilla como Material Muy Fino en los agregados para el concreto.....	30
2.5.3.Revestimientos en los agregados para el concreto.....	32
2.6.Diseño de mezclas de concreto.....	33
2.6.1.Contenido de agua.....	34
2.6.2.Contenido de aire.....	34
2.6.3.Relación agua/cemento por resistencia.....	34
2.6.4.Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.....	35
2.6.5.Ajuste de las proporciones.....	36
2.7.Propiedades del concreto en estado no endurecido.....	37
2.7.1.Trabajabilidad.....	37
2.7.2.Consistencia.....	37
2.8.Propiedades del concreto en estado endurecido.....	38
2.8.1.Peso unitario del concreto.....	38
2.8.2.Resistencia a compresión.....	38
2.8.3.Módulo de elasticidad del concreto.....	39
2.8.3.1.Relación de esfuerzo-deformación del Esfuerzo a compresión.....	40
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	44
3.1.Cantera de estudio.....	44
3.1.1.Ubicación.....	44
3.1.2.Geología.....	45
3.1.3.Extracción de agregados.....	45
3.1.4.Obtención por muestreo y transporte al laboratorio de los agregados de estudio de la cantera.....	47
3.2.Tratamientos por lavado de los agregados.....	48
3.3.Estudio de las características Físicas de los agregados para el concreto.....	51
3.3.1.Reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo.....	51
3.3.2.Granulometría.....	52
3.3.2.1.Granulometría del agregado fino.....	52
3.3.2.2.Granulometría del agregado grueso.....	53
3.3.2.3.Análisis Granulométrico de los agregados.....	54
3.3.3.Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso.....	54
3.3.4.Módulo de fineza.....	55
3.3.5.Peso específico y absorción.....	56
3.3.5.1.Determinación del peso específico y absorción del agregado fino.....	56
3.3.5.2.Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso.....	59
3.3.6.Contenido de Humedad.....	61
3.3.7.Peso unitario volumétrico.....	62
3.3.7.1.Ensayo para la determinación del peso unitario volumétrico compactado.....	62

3.3.7.2. Ensayo para la determinación del peso unitario volumétrico suelto.....	64
3.3.8. Ensayo para determinar la cantidad de material que pasa la malla N° 200 (MMF)	65
3.3.9. Desgaste o Abrasión.....	66
3.3.9.1. Ensayo para determinar la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaño pequeño, por medio de la Máquina de los Ángeles.	67
3.3.9.2. Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaño pequeño, por medio de la Máquina de los Ángeles.....	68
3.4. El cemento utilizado.	68
3.5. El agua potable de La Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de Cajamarca.	69
3.6. Procedimiento de diseño de mezclas.	69
3.6.1. Requerimientos del concreto considerados para el diseño de mezclas.....	69
3.6.1.1. La trabajabilidad requerida.....	70
3.6.1.2. La consistencia requerida.....	70
3.6.1.3. La resistencia requerida.....	70
3.6.2. Propiedades de los materiales a considerar para el diseño de mezclas.....	70
3.6.2.1. Propiedades del Cemento.....	70
3.6.2.2. Propiedades del Agregado Fino.....	70
3.6.2.3. Propiedades del Agregado Grueso.....	71
3.6.3. Procedimiento realizado para la selección de las proporciones del concreto por el método ACI del comité 211.....	72
3.6.3.1. Elaboración de mezcla de prueba.....	73
3.6.4. Procedimiento realizado para el Ajuste de las proporciones.....	74
3.6.5. Dosificación de materiales para la elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto.	75
3.7. Tratamientos de estudio de la investigación.	75
3.7.1. Tratamiento 1: Concreto con Agregado Global Sin Lavado o C-SL(2.21% MMF)....	75
3.7.2. Tratamiento 2: Concreto con Agregado Global Medio Lavado o C-ML(1.24% MMF)	75
3.7.3. Tratamiento 3: Concreto con Agregado Global Bien Lavado o C-BL(0.23% MMF)...	76
3.8. Unidades de estudio de la investigación.	76
3.8.1. Elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto para pruebas de compresión (unidades de estudio)	76
3.8.2. Curado de los especímenes cilíndricos de concreto.	79
3.9. Variables de evaluación de estudio.	81
3.9.1. El Asentamiento en el concreto en estado no endurecido.	81
3.9.1.1. El asentamiento en los tipos de tratamientos.	83
3.9.2. El Peso unitario de los especímenes cilíndricos de concreto.	83
3.9.2.1. El Peso unitario de los especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 28 días.....	83
3.9.3. La resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto.....	83
3.9.3.1. La resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días.	87
3.9.4. El desarrollo de la resistencia del concreto.	87
3.9.5. El módulo de elasticidad del concreto en los especímenes cilíndricos.....	87
3.9.6. La uniformidad del concreto en resistencia a compresión.....	89
3.9.6. El costo de la elaboración de concreto por metro cúbico.	89
3.10. Técnicas, instrumentos de recopilación y procesamiento de información.	90
3.10.1. Técnicas e instrumentos de recopilación de información.....	90
3.10.2. Técnicas de procesamiento y análisis de información.	90
3.10.2.1. Análisis estadístico de los resultados.	91
3.11. Relación entre el planteamiento y la solución del problema de investigación...	92

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	94
4.1. Análisis de la consistencia de los tratamientos.....	94
4.2. Análisis del peso unitario de los especímenes cilíndricos de concreto.	97
4.3. Análisis de los resultados de pruebas de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos.....	100
4.3.1. Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7 días.	100
4.3.2. Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 14 días.	104
4.3.3. Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 28 días.	108
4.3.4. Análisis de la resistencia a compresión final.	112
4.4. Análisis del Desarrollo de la resistencia del concreto.....	114
4.5. Análisis del Módulo de elasticidad del concreto.	117
4.6. Análisis Estadístico de datos de las Variables de evaluación.....	119
4.6.1. Análisis Estadístico de datos del Asentamiento.....	119
4.6.2. Análisis Estadístico de datos del peso Unitario.....	120
4.6.3. Análisis Estadístico de resistencia a compresión.	122
4.6.3.1. Análisis Estadístico de resistencia a compresión a la edad de 7 días.	122
4.6.3.2. Análisis Estadístico de resistencia a compresión a la edad de 14 días.....	123
4.6.3.3. Análisis Estadístico de resistencia a compresión a la edad de 28 días.....	124
4.6.3.4. Análisis de uniformidad del concreto en resistencia a compresión final.....	126
4.6.4. Análisis Estadístico de Módulo de Elasticidad.	127
4.7. Análisis del Costo de la elaboración de concreto por metro cúbico.....	128
4.7.1. Costo de la elaboración de un metro cúbico de Concreto con Agregado Global Sin Lavar (2.21%MMF)	128
4.7.2. Costo de la elaboración de un metro cúbico de Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF)	129
4.7.3. Costo de la elaboración de un metro cúbico de Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF)	131
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
9.1. Conclusiones.....	133
9.2. Recomendaciones.....	136
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
ANEXOS	140

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Fabricación de Cementos en el Perú.....	18
Tabla 3.1: Límites granulométricos para el agregado fino.....	53
Tabla 3.2: Límites granulométricos para el agregado grueso.....	53
Tabla 3.3: Pesos de muestra según gradaciones.....	67
Tabla 3.4: Tolerancia permisible de tiempo de ensayo según la edad de especímenes....	85
Tabla 3.5: Estándares para control del concreto (ACI 214-77).....	92
Tabla 3.6: Relación entre el planteamiento y la solución del problema de investigación....	93
Tabla 4.1: Asentamientos del concreto según los tipos de tratamiento.....	94

Tabla 4.2: Peso unitario de los especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 1: Concreto con Agregado Global Sin Lavar (2.21%MMF) a la edad de 28 días.....	98
Tabla 4.3: Peso unitario de los especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 2: Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF) a la edad de 28 días.....	98
Tabla 4.4: Peso unitario de los especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 2: Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF) a la edad de 28 días.....	98
Tabla 4.5: Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 1: Concreto con Agregado Global Sin Lavar (2.21%MMF) a la edad de 7 días.	100
Tabla 4.6: Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 2: Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF) a la edad de 7 días.	102
Tabla 4.7: Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 3: Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF) a la edad de 7 días.	103
Tabla 4.8: Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 1: Concreto con Agregado Global Sin Lavar (2.21%MMF) a la edad de 14 días.	104
Tabla 4.9: Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 2: Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF) a la edad de 14 días.....	105
Tabla 4.10: Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 3: Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF) a la edad de 14 días.	106
Tabla 4.11: Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 1: Concreto con Agregado Global Sin Lavar (2.21%MMF) a la edad de 28 días.	108
Tabla 4.12: Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 2: Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF) a la edad de 28 días.	109
Tabla 4.13: Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 3: Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF) a la edad de 28 días.	110
Tabla 4.14: Módulo de Elasticidad de los especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 1: Concreto con Agregado Global Sin Lavar (2.21%MMF) a la edad de 28 días.	117
Tabla 4.15: Módulo de Elasticidad de los especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 2: Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF) a la edad de 28 días.	117
Tabla 4.16: Módulo de Elasticidad de los especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 3: Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF) a la edad de 28 días.	118
Tabla 4.17: Datos ANOVA unidireccional: Asentamiento (cm) vs. Tratamiento.....	119
Tabla 4.18: Agrupación de información utilizando el método de Tukey (Asentamiento)....	119
Tabla 4.19: ANOVA unidireccional: Peso Unitario (Kg/m ³) vs. Tratamiento.....	120
Tabla 4.20 : Agrupación de información utilizando el método de Tukey (Peso Unitario)....	121
Tabla 4.21: ANOVA: Resistencia a compresión a los 7 días vs. Tratamiento.....	122
Tabla 4.22: Agrupación de información utilizando el método de Tukey (Resistencia a compresión a los 7 días)	122
Tabla 4.23: ANOVA: Resistencia a compresión a los 14 días vs. Tratamiento.....	123
Tabla 4.24: Agrupación de información utilizando el método de Tukey (Resistencia a	

compresión a los 14 días).....	123
Tabla 4.25: ANOVA: Resistencia a compresión a los 28 días vs. Tratamiento.....	124
Tabla 4.26: Agrupación de información utilizando el método de Tukey (Resistencia a compresión a los 14 días)	125
Tabla 4.27: Estándares de control del concreto en resistencia a compresión a la edad de 28 días.....	126
Tabla 4.28: ANOVA unidireccional: Módulo de Elasticidad (28 días) vs. Tratamiento.....	127
Tabla 4.29: Agrupación de información utilizando el método de Tukey (Módulo de elasticidad)	127
Tabla 4.30: Análisis de Costos unitarios de la partida de CONCRETO $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	129
Tabla 4.31: Análisis de Costos unitarios de la partida de preparación de agregado fino medio lavado.....	130
Tabla 4.32: Análisis de Costos unitarios de la partida de preparación de agregado grueso medio lavado.....	130
Tabla 4.33: Análisis de Costos unitarios de la partida de preparación de agregado fino bien lavado.....	131
Tabla 4.34: Análisis de Costos unitarios de la partida de preparación de agregado grueso bien lavado.....	132
Tabla 4.35: Cuadro Resumen de los costos de Concreto por m^3 según tratamiento.....	132

INDICE DE GRÁFICOS

Grafico 2.1: Curva esfuerzo-deformación del concreto en compresión.	41
Grafico 2.2: Efecto de la velocidad de carga en la resistencia a la compresión del concreto.....	41
Grafico 2.3: Módulo Tangente y Secante del Concreto.....	42
Grafico 3.1: Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura, Adoptado de la Norma ASTM C 39.....	86
Gráfico 4.1: Asentamiento vs % MMF Global.	96
Gráfico 4.2: Peso unitario (kg/m^3) vs %MMF global.....	99
Gráfico 4.3: $f'c$ promedio a los 28 días vs % MMF Global	112
Gráfico 4.4: Resistencia promedio vs Edad, Por Tratamiento de concreto con diferentes %MMF.....	114
Gráfico 4.5: Módulo de Elasticidad vs %MMF global.....	118
Gráfico 4.6: Valores individuales de Asentamiento (cm) vs. Tratamiento de concreto.....	120
Gráfico 4.7: Gráfica de caja de Asentamiento (cm)	120
Gráfico 4.8: Valores individuales de Peso Unitario (Kg/m^3) vs. Tratamiento de concreto	121
Gráfico 4.9: Gráfica de caja de Peso Unitario (Kg/m^3)	121
Gráfico 4.10: Valores individuales de Resistencia a compresión a los 7 días vs. Tratamiento de concreto.....	122
Gráfico 4.11: Caja de Resistencia a compresión a los 7 días.....	122
Gráfico 4.12: Valores individuales de Resistencia a compresión a los 14 días vs. Tratamiento de concreto.....	124
Gráfico 4.13: Caja de Resistencia a compresión a los 14 días.....	124
Gráfico 4.14: Valores individuales de Resistencia a compresión a los 28 días vs. Tratamiento de concreto.....	125
Gráfico 4.15: Caja de Resistencia a compresión a los 28 días.....	125
Gráfico 4.16: Desviación Estándar vs %MMF global.....	126
Gráfica 4.17: Valores individuales de Módulo de Elasticidad (28 días) vs. Tratamiento de concreto.....	128
Gráfica 4.18: Caja de Módulo de Elasticidad (28 días)	128

INDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 01: Fotografía satelital, ubicación de la cantera Huayrapongo.....	44
Imagen N° 02: Bombeo de agua de lagunas artificiales para la separación de agregado.	46
Imagen N° 03: Separación de agregado con ayuda de bombeo de agua.....	47
Imagen N° 04: Separación del agregado en distintos tamaños utilizando 3 mallas de diferente diámetro.	47
Imagen N° 05: Lavado del agregado fino en carretillas.....	49
Imagen N° 06: Lavado del agregado grueso en carretillas.....	50
Imagen N° 07: Reducción de muestras de agregado fino a tamaño de ensayo por el método del cuarteo.....	52
Imagen N° 08: Reducción de muestras de agregado grueso a tamaño de ensayo por el método del cuarteo.....	52
Imagen N° 09: Material y equipos utilizados para el análisis granulométrico.	54
Imagen N° 10: Ensayo de determinación del peso específico y absorción del Agregado fino (Procedimiento gravimétrico)	59
Imagen N° 11: Muestras utilizadas para el contenido de humedad.....	61
Imagen N° 12: Ensayo para la determinación de la cantidad de material que pasa por la malla 200 por lavado.	66
Imagen N° 13: Ensayo de Abrasión del Agregado grueso en la Máquina de los Ángeles.	68
Imagen 14: Elaboración de una tanda de concreto para los especímenes.....	79
Imagen 15: Elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto.....	79
Imagen 16: Curado de concreto con control de temperatura de agua de curado.....	80
Imagen 17: Ensayo de resistencia a la compresión de un espécimen cilíndrico de concreto.	84
Imagen N° 18: Mediciones del esfuerzo vs deformación con el deformímetro ubicado en la base móvil inferior.	88
Imagen N° 19: Asentamiento de 5.5 cm de una tanda de Concreto con Agregado Global Sin Lavar (2.21% MMF)	95
Imagen N° 20: Asentamiento de 7 cm de una tanda de Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF)	95
Imagen N° 21: Asentamiento de 11 cm de una tanda de Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF)	97
Imagen N° 22: Tipo de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Sin Lavar 2.21%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 7 días.	101
Imagen N° 23: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Sin Lavar 2.21%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 7 días.	101
Imagen N° 24: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Medio Lavado 1.24 %MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 7 días.	102
Imagen N° 25: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Medio lavado con 1.24%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 7 días.	102
Imagen N° 26: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Bien Lavado 0.23% MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 7 días.	103
Imagen N° 27: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Bien Lavado con 0.23 %MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 7 días.	103

Imagen N° 28: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Sin Lavar 2.21%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 14 días.	105
Imagen N° 29: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Sin Lavar 2.21%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 14 días.	105
Imagen N° 30: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Medio Lavado con 1.24% MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 14 días.....	106
Imagen N° 31: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Medio Lavado con 1.24% MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 14 días.	106
Imagen N° 32: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Bien Lavado con 0.23% MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 14 días.....	107
Imagen N° 33: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Bien Lavado 0.23% MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 14 días.	107
Imagen N° 34: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Sin Lavar 2.21%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 28 días.	108
Imagen N° 35: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Sin Lavar con 2.21%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 28 días.	108
Imagen N° 36: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Medio Lavado 1.24% MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 28 días.	109
Imagen N° 37: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Medio Lavado con 1.24% MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 28 días.	109
Imagen N° 38: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Bien Lavado 0.23 % MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 28 días.....	111
Imagen N° 39: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Bien Lavado con 2.21%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 28 días.	111

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I: CALCULOS Y RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LOS AGREGADOS.....	141
ANEXO II: CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PESO ESPECÍFICO, Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.....	148
ANEXO III: CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS.....	151
ANEXO IV: CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PESO UNITARIO COMPACTADO Y NO COMPACTADO DE LOS AGREGADOS.....	153
ANEXO V: CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 200 DE LOS AGREGADOS.....	156
ANEXO VI: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EMPLEADO.....	157
ANEXO VII: DISEÑO DE MEZCLAS Y AJUSTE DE PROPORCIONES DEL CONCRETO.....	159
ANEXO VIII: CÁLCULOS DE LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE MMF EN EL AGREGADO GLOBAL DE LOS TRATRAMIENTOS.....	179
ANEXO IX: CONSTANCIA DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES.....	181
ANEXO X: PRESENTACIÓN FOTOGRÁFICA.....	182

SUMMARY

TEJADA ARIAS, Luis Matías (2013). **"Study of the influence of very fine materials in the compressive strength of the concrete,"** Undergraduate Thesis. Professional School of Civil Engineering, National University of Cajamarca. This study aims to determine the influence of presence of very fine material (material passing No. 200 mesh or MMF) in the aggregates in concrete strength and understanding of their other properties. For this purpose, have used the aggregates of "Huayrapongo" quarry in the district "Baños del Inca", which were treated by washing for three types of fine and coarse aggregate with different percentages of MMF, which was developed with three treatments concrete developed with a dosage in weight of 1:3.29:3.5/27.2 liters per bag. with different percentages of MMF: Global Aggregate Concrete with 2.21 % Unwashed MMF Average Global Aggregate Concrete Washout 1.24 % MMF, Global Aggregate Concrete Washout 0.23 % Well MMF. Of these three specific treatments following variables were studied : (a) Settlement in the concrete in uncured state, (b) Unit weight of cylindrical concrete specimens, (c) Compressive strength of cylindrical concrete specimens at the age 7, 14 and 28 days, (d) Development of concrete strength , (e) Uniformity of concrete, (f) Modulus of elasticity of concrete and (g) Cost of production per m³ concrete. Concrete was obtained with 1.24 % Added Global with MMF, and MMF 0.23 % resistance means were statistically different final compression to Global Aggregate Concrete with 2.21 % MMF, above average for this in 27.0 %, and 23.5 % respectively. Likewise it modifies another properties of concrete as the consistence, unit weight, develop to the resistance to compression, uniformity of concrete, modulus of elasticity. The cost was calculate for the concrete with global aggregate without washing was S/. 320.18, for the concrete with medium global aggregate was S/. 354.91 And for the concrete with global aggregate without washing was S/. 441.93.

RESUMEN

TEJADA ARIAS, Luis Matías (2013). **“Estudio de la influencia de materiales muy finos en la resistencia a compresión del concreto”**, Tesis de Pregrado. Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Cajamarca. Este estudio realizado en Cajamarca, Perú. Tuvo como objetivo determinar la influencia de la presencia de Materiales Muy Finos (Material que pasa la malla N° 200 ó MMF) en los agregados sobre la resistencia a compresión del concreto, así como en otras de sus propiedades y en la variación de los costos de su elaboración. Para lo cual se empleó los agregados de la cantera Huayrapongo del distrito de Baños del Inca, los cuales fueron tratados por medio de lavado para obtener tres tipos de agregado fino y grueso con distintos porcentajes de MMF, con los cuales se elaboraron tres tratamientos de concreto con una misma proporción de materiales en peso de 1:3.29:3.5/27.2 lts/bolsa, pero con diferentes porcentajes de MMF de su agregado global, dichos tratamientos fueron: Concreto con Agregado Global Sin Lavar con 2.21% MMF, Concreto con Agregado Global Medio Lavado con 1.24% MMF, Concreto con Agregado Global Bien Lavado con 0.23% MMF. De estos tres tratamientos de concreto se estudiaron las siguientes variables: (a) Asentamiento en el concreto en estado no endurecido, (b) Peso unitario de los especímenes cilíndricos de concreto, (c) Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días, (d) Desarrollo de la resistencia del concreto, (e) Uniformidad del concreto, (f) Módulo de elasticidad del Concreto y (g) Costo de la elaboración de concreto por m³. Así se concluyó que los Concretos con Agregado Global con 1.24% MMF, y con 0.23% MMF obtuvieron medias de resistencia a compresión final superiores estadísticamente al Concreto con Agregado Global con 2.21% MMF, mayores a la media de éste en 27.0% y 23.5% respectivamente. Así mismo, la disminución de MMF modificó otras propiedades de concreto como la consistencia, peso unitario, desarrollo de la resistencia a compresión, uniformidad del concreto, módulo de elasticidad. Además el costo que se calculó para el Concreto con Agregado Global con 2.21% de MMF fue de S/.320.18, para el Concreto con Agregado Global con 1.24% de MMF fue de S/.354.91 y para el Concreto con Agregado Global con 0.23% de MMF fue de S/. 441.93.

Capítulo

I

INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Antecedentes

Mediante estudios se ha establecido que el material de un tamaño de grano menor a 0.075 mm ó Material Muy Fino (MMF)¹ presente en los agregados que conforman el concreto, influye en las propiedades del concreto en estado no endurecido y endurecido. Por ello, esta investigación se orienta a conocer este tema tomando como muestra de trabajo agregados de una cantera local.

De otro lado, las *Normas ASTM C 33* y *NTP 400.037*, limitan la cantidad de MMF en los agregados para mezclas de concreto. Sin embargo estas normas consideran estos límites sólo para agregado grueso de perfil angular.

En este tema, *Okuyama, D. y colaboradores (2001)* realizaron el trabajo de investigación denominado "*Efecto del contenido de material superfino en las características del concreto*" donde se investigó la influencia del MMF presente únicamente en el agregado fino en las características del concreto, diseñaron

¹ En esta tesis, se llamará "Material Muy Fino (MMF)" a aquel material que pasa por la malla N° 200.

mezclas con cinco porcentajes de MMF y con tres relaciones agua/cemento, se fabricaron especímenes con cada mezcla y se hicieron ensayos de compresión, flexión, abrasión, permeabilidad y contracción. Llegando a la conclusión de que la resistencia a la compresión y flexión disminuye con el aumento del MMF y que este efecto disminuye al aumentar la relación agua/cemento del concreto.

Así mismo, en la tesis realizada en Costa Rica titulada: *"Influencia de los finos pasando la malla No 200 (ASTM) en mezclas de concreto con cementos portland con adiciones"*; Muñoz, F. y colaborador (1995), estudiaron la influencia del MMF como puzolana, en la resistencia y trabajabilidad de mezclas de concreto. La valoración experimental se realizó sobre mezclas de concreto elaboradas, en cada caso, con cemento de portland modificado con caliza (MC) y cemento portland puzolánico (IP), combinados con agregado grueso y agregado fino de río. Manteniendo la granulometría siempre dentro de las especificaciones ASTM, se incorporó material pasando la malla #200 (ASTM) en cantidades de 5%, 12% y 25%. La influencia de los MMF se determinó sobre las resistencias de diseño de 210 kg/cm² y 280 kg/cm², generando la curva de desarrollo de resistencia con base en datos experimentales obtenidos a 7, 28, 56 y 100 días de curado. Se concluyó que la adición de MMF mejora la trabajabilidad pero producen retrasos en el tiempo de fraguado final; asimismo, observaron que las arenas con cantidades superiores a lo que rige la norma ASTM C-33 para el MMF, tienden a reducir la resistencia del concreto a edades tempranas.

En Cajamarca, en la tesis: *"Comportamiento de los áridos en la mezcla de concreto"* realizada por Pérez, J. y colaborador. (1985), se realizó un estudio del comportamiento del agregado fino y grueso con diferentes módulos de finura y grupos granulométricos, para lo cual se tomó una cantera ubicada en el río Mashcón (Kilómetro 3 de la carretera Cajamarca – Bambamarca); donde se determinó que los agregados cumplían con los límites permisibles de MMF según las normas, con un agregado fino con un 2.93 % MMF y un agregado grueso con un 0.94% de MMF. Valores, muy similares a los obtenidos en el presente trabajo de investigación. De otro lado, Linares, J. y colaborador (1984), en la tesis titulada: *"Elaboración de*

especímenes de concreto utilizando mezcladora con variación en el tiempo de mezclado y en la relación agua/cemento” realizaron estudios de las propiedades de los agregados, tomando otra cantera del río Mashcón (a 50 metros del puente Cajamarca – Santa Barbará), donde determinaron que los agregados, también, cumplían con los límites permisibles de MMF según las normas, con un agregado fino con un 1.62 % de MMF y un agregado grueso con un 0.33 % de MMF; observándose que en este caso se obtuvo menores valores de MMF respecto a los hallados por Pérez, J. y colaborador (1985).

Cabe mencionar que la investigación, correspondiente a la presente tesis, se planteó después de realizar algunas pruebas empíricas. Se elaboraron especímenes de concreto con agregado con una mínima cantidad de MMF, y concreto con agregado similar pero con un contenido normal de MMF, observándose que el concreto con la mínima cantidad de MMF tuvo una resistencia considerablemente mayor que el concreto elaborado con agregado con un contenido normal de MMF.

1.1.2. Planteamiento y formulación del problema de investigación

En la ciudad de Cajamarca, en las dos últimas décadas se ha producido un incremento poblacional y un crecimiento económico que han llevado a una notable expansión de la zona urbana. En este crecimiento urbano se observa en las construcciones de edificaciones el uso masivo de materiales como el concreto, ladrillo y acero; reduciendo el uso de materiales tradicionales como el adobe, tapial y madera para la construcción. De tal manera que en la actualidad casi la totalidad de edificaciones de diversas formas estructurales utilizan para su construcción el concreto.

El concreto utilizado mayormente como material que compone elementos estructurales, tiene que cumplir con un desempeño óptimo de sus propiedades, como lo es su propiedad más representativa la resistencia a compresión.

Usualmente, en el diseño de mezclas de concreto para la construcción civil no se considera la presencia de material que pasa la malla N° 200 (MMF) existente en los

agregados, debido a dos causas principales: (a) al desconocimiento de su influencia en las propiedades del concreto, entre ellas, la Resistencia a Compresión; y (b) que la normatividad vigente establece valores máximos permisibles de dichos materiales. Sin embargo, es posible que por debajo de los límites permisibles que establece la norma, la presencia de MMF influiría significativamente sobre las propiedades del concreto.

Este problema, ocasiona por una parte que el concreto elaborado no cumpla con la resistencia esperada de acuerdo a su diseño y por otra parte, está conllevando al uso excesivo de cemento en su elaboración.

1.1.3. Formulación del problema

El problema de investigación se plantea mediante las siguientes preguntas:

Pregunta general:

- ¿Cuál es la influencia de la presencia de materiales muy finos de los agregados sobre la resistencia a compresión del concreto, así como en otras de sus propiedades y en los costos de su elaboración?

Preguntas específicas:

- ¿Cuál es la influencia de la presencia de materiales muy finos de los agregados sobre la resistencia a compresión del concreto?
- ¿Cuál es la influencia de la presencia de materiales muy finos de los agregados sobre otras de sus propiedades del concreto?
- ¿Cuál es la variación de los costos de la elaboración de concretos con agregados con diferentes cantidades de MMF?

1.2. Hipótesis de Investigación

Hipótesis general:

- Al disminuir el porcentaje de material muy fino del agregado global en más del 40% cuando éste alcanza aproximadamente un 2.20% de su composición, se obtendrán concretos con valores de resistencia a compresión del concreto

mayores al 20%; Así mismo se modificará otras propiedades de concreto como la consistencia, peso unitario, desarrollo de la resistencia a compresión, uniformidad del concreto, módulo de elasticidad; pero a su tendrán un costo superior en 8%.

Hipótesis específicas:

- Al disminuir el porcentaje de material muy fino del agregado global en más del 40% cuando éste alcanza aproximadamente un 2.20% de su composición, se obtendrán valores de resistencia a compresión del concreto mayores al 20%.
- La disminución de material muy fino de los agregados aumentará la fluidez de la consistencia del concreto en estado no endurecido.
- La variación del peso unitario del concreto estará relacionada con la consistencia que presentará éste en estado no endurecido.
- La disminución de material muy fino de los agregados aumentará el desarrollo de la resistencia a compresión del concreto.
- La disminución de material muy fino de los agregados aumentará la uniformidad de la resistencia a compresión del concreto.
- La disminución de material muy fino de los agregados aumentará el módulo de elasticidad del concreto.
- Los concretos elaborados con agregados cuyo material muy fino fue reducido en más del 40%, cuando éste alcanza aproximadamente un 2.20% de su composición, tendrán un costo superior en 8%.

1.3. Objetivos de la investigación

Objetivo general:

Determinar la influencia de la presencia de materiales muy finos de los agregados sobre la resistencia a compresión del concreto, así como en otras de sus propiedades y en la variación de los costos de su elaboración.

Objetivos específicos:

- a. Determinar la influencia de la presencia de materiales muy finos de los agregados sobre la resistencia a compresión del concreto.
- b. Determinar la influencia de la presencia de materiales muy finos de los agregados sobre otras de sus propiedades del concreto.
- c. Estimar la variación de los costos de la elaboración de concretos con agregados con diferentes cantidades de MMF.

1.4. Alcances:

Esta investigación se orienta hacia la comunidad científica por existir información insuficiente sobre la influencia de los MMF que se encuentran en forma natural en los agregados sobre las propiedades del concreto, y también a los actores de la construcción civil como empresas de construcción, albañiles, maestros de obra, etc. de la ciudad de Cajamarca porque se orienta a determinar las ventajas y desventajas del uso de agregados con menores proporciones de MMF. Así mismo será tomado como fuente bibliográfica para estudiantes de Ingeniería Civil y como base para la ejecución de trabajos similares. Orientándose sus resultados para su población y contexto social.

El MMF de estudio sería el material que pasa la malla N° 200, el mismo que se encuentra en forma natural en los agregados de la cantera de estudio; habiéndose obtenido mediante muestreo (según lo indicado en la Norma ASTM) en las pilas de agregados que se comercializan para la elaboración de concreto en la ciudad de Cajamarca y alrededores.

El trabajo se realizó en la ciudad de Cajamarca y alrededores, tomando como unidad de estudio una cantera de río llamada "Huayrapongo", considerada representativa ya que se ubica en el río Cajamarquino donde también se encuentran actualmente otras canteras que proveen grandes volúmenes de agregados para la elaboración de concretos en la ciudad de Cajamarca y alrededores. Así mismo el río Cajamarquino está formado por la unión del río Chonta y el río Mashcón en donde también se ubican canteras que proveen agregados para el concreto. Cabe añadir que según

información brindada del propietario y trabajadores de la cantera de estudio, esta cantera comercializa entre un aproximado de 400 a 600 metros cúbicos de agregado al mes para la construcción de obras públicas y privadas; por lo que se considera esta cantera como representativa e importante para este estudio.

1.5. Características locales:

La ciudad de Cajamarca, capital de la provincia y del departamento de Cajamarca, se encuentra ubicada en la parte superior Oeste de la cuenca del río Cajamarca, margen izquierda del río Mashcón. Geográficamente se localiza entre las coordenadas 7°09'12" de latitud sur y 78°30'57" de longitud Oeste, a una altura promedio de 2,750 m.s.n.m.

La ciudad de Cajamarca y su área de expansión urbana, se ubica sobre una topografía ondulada, configurada por zonas de laderas fuerte y suave pendiente. El entorno circundante al área urbana por el lado Oeste está conformado por estribaciones de la cordillera occidental que a la vez limitan la cuenca del río Cajamarca, cuyas altitudes van desde los 2,800 hasta los 3,400 m.s.n.m; en tanto el lado Este de la ciudad está enmarcado por la zona baja del valle. Al interior del núcleo urbano la elevación más importante es el cerro Santa Apolonia con una altitud de 2,840 m.s.n.m. Por otro lado, limitan los extremos Norte y Sur de la ciudad los cerros Cajamarcorco y Carambayo, respectivamente. La superficie actual del área urbana alcanza una extensión de 1,572.18 hectáreas. [INDECI, 2005:23]²

1.6. Justificación de la investigación:

Este estudio se justifica por lo siguiente:

- a. No existe un trabajo de investigación referente a la influencia de MMF de los agregados en las propiedades del concreto realizado en nuestro medio.
- b. En Cajamarca, se prepara diariamente una importante cantidad de concreto para la construcción civil, existiendo la necesidad que este concreto preste buen desempeño en obra; utilizando en forma eficiente los recursos de la

² En esta tesis, se usa las pautas de citas y referencias bibliográficas de estilo Chicago B15. Donde para el caso de libros se indica el autor, año de publicación y páginas de consulta

construcción, lo cual, no estaría ocurriendo debido al desconocimiento de la influencia del uso de agregados con presencia de materiales muy finos.

- c. La Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) a través de su Escuela Profesional de Ing. Civil de la Facultad de Ingeniería, está en capacidad de desarrollar investigaciones a través de sus graduados a fin de resolver los problemas sociales que se enmarcan en su campo de acción; siendo en este caso el estudio de la influencia de las MMF en los agregados que se usan en Cajamarca.

1.7. Delimitaciones y limitaciones de la investigación

1.7.1. Delimitaciones

La investigación se ha realizado usando los agregados provenientes de la cantera "Huayrapongo", una cantera representativa de las canteras de río existentes en la zona del valle de Cajamarca. Por lo que los resultados son aplicables para dichas canteras.

La investigación se ha realizado a mediados del año 2013, por lo que la información obtenida de las Normas NTP³, ASTM⁴ ó recomendaciones ACI⁵, pueden variar respecto a los próximos años, ya que están sujetas a actualizaciones constantes. Asimismo las características de los agregados de río pueden cambiar a travez del tiempo.

1.7.2. Limitaciones

El tesista no ha agotado todas las fuentes bibliográficas existentes sobre el tema de investigación que se hayan desarrollado especialmente en el extranjero, ya sea por la falta de recursos y por la falta de conocimiento de idiomas extranjeros.

³ NTP: Normas Técnicas Peruanas

⁴ ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials) o ASTM International es un organismo de normalización de los Estados Unidos de América.

⁵ ACI: American Concrete Institute, instituto Americano del Concreto, es una organización de Estados Unidos de América que publica normas y recomendaciones técnicas con referencia al concreto reforzado.

Algunos equipos e instrumentos utilizados en el laboratorio fueron de salida de información tipo mecánica, por lo que se tuvo que aproximar los resultados por apreciación personal, por lo tanto la exactitud de estos resultados sería una limitante.

1.8. Tipo de investigación

Según su aplicación, esta investigación será de tipo aplicada experimental porque se basará en conocimientos existentes, sobre las propiedades de agregados utilizados para la elaboración de concreto utilizados en la ciudad de Cajamarca, y la importancia de estas propiedades para mejorar el desempeño del concreto en obra. También, es de Tipo Proyectiva porque se orienta a elaborar una propuesta dirigida a resolver un problema existente en la sociedad [Hurtado, J. 2008]

Asimismo, por la naturaleza de la información a recolectar, será del Tipo Experimental ya que las variables que se utilizarán van a ser usados y controladas para comprobar los efectos que producen.

Capítulo

II

MARCO TEÓRICO

2.1. El concreto

2.1.1. Definición del concreto. *[Rivva, E. 2004:8].*

El concreto es un producto artificial que está compuesto de (a) un medio ligante denominado pasta, y de un (b) medio ligado denominado agregado el cual se encuentran embebido dentro de la pasta.

La pasta es el resultado de la combinación química del material cementante con el agua. Es la fase continua del concreto dado que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto de éste.

El agregado es la fase discontinua del concreto dado que sus diversas partículas no se encuentran unidas o en contacto unas con otras, sino que se encuentran separadas por espesores diferentes de pasta en estado endurecido.

Las propiedades del concreto están determinadas fundamentalmente por las características físicas y químicas de sus materiales componentes; que en mayor cantidad son la pasta y el agregado.

2.1.2. La pasta de concreto [Rivva, E. 2004:8,9,10]

Elementos fundamentales

Aquella parte del concreto endurecido conocida como pasta comprende a cuatro elementos fundamentales: (a) El gel, nombre con el que se denomina al producto resultante de la reacción química e hidratación⁶ del cemento. (b) Los poros incluidos en ella. (c) El cemento no hidratado, si lo hay. (d) Los cristales de hidróxido de calcio, o cal libre, que puedan haberse formado durante la hidratación del cemento. Estos cuatro elementos tienen un papel fundamental en el comportamiento del concreto.

Funciones de la pasta

La pasta tiene cuatro grandes funciones en el concreto: (a) Contribuir a dar las propiedades requeridas al producto endurecido. (b) Separar las partículas de agregado. (c) Llenar los vacíos entre las partículas de agregado y adherirse fuertemente a ellas. (d) Proporcionar lubricación a la masa cuando ésta aún no ha endurecido.

Propiedades de la pasta

Las propiedades de la pasta dependen de: (a) Las propiedades físicas y químicas del cemento. (b) Las proporciones relativas de cemento y agua en la mezcla. (c) El grado de hidratación del cemento, dado por la efectividad de la combinación química entre éste y el agua.

⁶ Se define como hidratación al proceso de reacción química del cemento en presencia del agua. La hidratación requiere de presencia de humedad, condiciones de curado favorables, y tiempo.

Influencia de la pasta en el concreto

Para un cemento dado, las características y porosidad de la pasta dependen fundamentalmente de la relación agua/cemento y del grado de hidratación de éste; siendo mejores las propiedades del concreto y menor su porosidad cuanto más baja es la relación agua/cemento de una mezcla trabajable y cuanto mayor es el grado de hidratación del cemento.

Dependiendo el grado de hidratación del cemento de la reacción química entre éste y el agua, todas aquellas condiciones que favorezcan la hidratación tienen importancia en la influencia de la pasta en el concreto.

2.1.3. El gel de la pasta [Rivva, E. 2004:10,11,12]

Se define como gel a la parte sólida de la pasta, la cual es el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación.

Composición del gel

En su estructura el gel es una aglomeración porosa de partículas sólidamente entrelazadas, en su mayoría escamosas o fibrosas, el conjunto de las cuales forma una red eslabonada que contiene material más o menos amorfo. En su composición el gel comprende: (a) La masa cohesiva de cemento hidratado en su estado de pasta más densa. (b) Hidróxido de calcio cristalino. (c) Poros Gel.

Comportamiento del gel

El gel desempeña el papel más importante en el comportamiento del concreto, especialmente en su resistencia y comportamiento elástico. Las razones de su resistencia aún no están claramente comprendidas, pero se acepta que intervienen dos clases de adherencias cohesivas: atracción física y adherencia química.

La atracción física se da una vez terminado el proceso de mezclado del concreto, las partículas de agregado quedan embebidas en la matriz de pasta agua/cemento.

Idealmente, la pasta forma una película delgada alrededor de las partículas de agregado, especialmente de los agregados gruesos, aunque también de los finos como la arena (La parte más fina de los agregados finos forma parte de la pasta). Después de unos minutos, en los que inicia la reacción del yeso con el aluminato tricálcico para producir sulfoaluminatos cálcicos hidratados, etringita, se inicia la reacción de los silicatos di y tri cálcicos, para producir silicatos cálcicos hidratados, o gel C-S-H. Estos productos, que en su mayoría se parecen físicamente a agujas largas y finas, se entrelazan entre sí y con la superficie de los agregados, generando un entramado mecánico que se hace más denso conforme se hidrata más cemento, y que, cuando endurece, genera la adherencia pasta-agregado.

La adherencia química es igualmente una causa importante de cohesión. Dado que el gel tiene capacidad de esponjamiento limitada, debido a que sus partículas no pueden dispersarse por adición de agua, es evidente que ellas están unidas por fuerzas químicas, siendo la ligazón de los tipos iónico y covalente.

Si bien las fuerzas químicas son más fuertes, la adherencia química actúa únicamente sobre la pequeña fracción que corresponde a la zona de contacto de las partículas de gel. En cambio, la adherencia física actúa sobre un área mayor, dado que la superficie específica del gel cemento es de cerca de dos millones de centímetros cuadrados por gramo.

Por lo expuesto, aunque en la actualidad se sigue investigando sobre la importancia de la influencia relativa de las adherencias física y química, no existen dudas sobre la importancia de la contribución de ambas a las propiedades finales de la pasta endurecida.

2.1.4. Porosidad de la pasta [Rivva, E. 2004:12,13,14,15,16]

Existen en la pasta cantidades variables de espacios vacíos, denominados poros, los cuales no contienen materia sólida aunque, bajo determinadas circunstancias, algunos de ellos podrían estar parcial o totalmente llenos de agua.

Clasificación de los poros de la pasta

Los poros presentes en la pasta se clasifican en cuatro categorías definidas por el origen, tamaño promedio, o ubicación de ellos. No existe una línea clara de demarcación que separe un rango de otro. Los poros de estas cuatro categorías son:

a. Poros por aire atrapado.

Durante el proceso de mezclado una pequeña cantidad de aire, aproximadamente del 1%, es aportada por los materiales y queda atrapado en la masa de concreto, no siendo eliminada por los procesos de mezclado, colocación o compactación. Los espacios que este aire forma en la masa de concreto se conocen como poros por aire atrapado. Son parte inevitable de toda pasta.

Los poros por aire atrapado varían en tamaño desde aquellos que no son perceptibles a simple vista hasta aquellos de un centímetro o más de diámetro. Su perfil puede ser irregular y no necesariamente están interconectados.

La presencia de los poros de aire atrapado es inevitable pero inconveniente dado que contribuyen a la disminución de la resistencia y durabilidad del concreto, pudiendo adicionalmente incrementar la permeabilidad.

b. Poros por aire incorporado.

Fundamentalmente por razones de incremento en la durabilidad del concreto, por incremento en la protección de la pasta contra los procesos de congelación del agua en el interior de la misma, se puede incorporar en forma intencional, mediante el empleo de aditivos químicos, minúsculas burbujas de aire las cuales se conocen como poros por aire incorporado.

c. Poros capilares.

Se define como poros capilares a los espacios originalmente ocupados por el agua en el concreto fresco, los cuales en el proceso de hidratación del cemento no han sido ocupados por el gel.

El gel sólo puede desarrollarse en los espacios originalmente llenos de agua. Por tanto, si la relación agua/cemento es alta o el curado es pobre, la cantidad de espacios ocupables por el gel será alta y sólo una parte de ellos será ocupada por el gel durante el proceso de hidratación, quedando los espacios residuales en la condición de poros capilares.

Los poros capilares no pueden ser apreciados a simple vista, varían en perfil y forman un sistema, en muchos casos interconectado, distribuido al azar a través de la pasta. En la pasta en proceso de formación los espacios llenos de agua son continuos. Conforme progresa la hidratación los capilares son separados por el gel al comenzar a ocupar éste los espacios originalmente llenos de agua, pudiéndose llegar a un sistema parcialmente discontinuo, el cual definitivamente se presenta en relaciones agua/cemento bajas. En la práctica nunca se llega a un sistema totalmente discontinuo aún en relaciones agua/cemento tan bajas como 0.45

La importancia de los poros capilares radica en que, conforme aumenta su número:

- Disminuyen las resistencias mecánicas de la pasta endurecida.
- Aumentan la porosidad, permeabilidad y capacidad de absorción de la pasta.
- Aumenta la vulnerabilidad de la pasta al ataque por acción de las bajas temperaturas sobre el concreto.

Este último punto es de gran importancia dado que los poros capilares son los principales responsables de la vulnerabilidad de la pasta al ataque de las heladas debido a que están en capacidad de contener agua que puede

congelarse. Esta agua al pasar al estado sólido debido a las bajas temperaturas incrementa su volumen en un 9%, originando esfuerzos de tensión que el concreto no está en capacidad de soportar, aumentando con ello la capacidad de deterioro del mismo.

d. Poros gel.

Durante el proceso de formación del gel quedan atrapados dentro de éste, totalmente aislados unos de otros, así como del exterior, un conjunto de vacíos a los cuales se les conoce con el nombre de poros gel.

Estos poros se presentan en el gel en forma independiente de la relación agua/cemento y el grado de hidratación de la pasta, ocupando aproximadamente el 28% de la misma.

Los poros gel tienen un diámetro muy pequeño, del orden de aproximadamente 0.0000010 mm, equivalente al de las moléculas de agua. Debido a su muy pequeño diámetro el agua no congela en ellos. Estos poros no están interconectados.

La imposibilidad que tiene el agua para congelar en los poros gel es debida, fundamentalmente, a que no hay espacio suficiente para que se pueda producir la nuclearización del hielo. Las partículas que conforman el gel son cuatro o cinco veces mayores que los poros gel.

2.2. El cemento Portland [Rivva, E. 2004:30,31]

Es un conglomerante hidráulico, obtenido por la pulverización del clinker⁷, y sin más adición que la piedra de yeso natural, en un porcentaje no superior al 5%, para

⁷ Es un producto artificial obtenido por calcinación a elevada temperatura, de una mezcla de materias primas naturales calizas y arcillosas, debidamente dosificadas y molidas hasta alcanzar un grado de finura adecuado.

retrasar el fraguado de los silicatos y aluminatos anhidros, que forman el clinker. Su color es gris, más o menos oscuro, según la cantidad de óxido férrico.

El cemento Portland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas sulfato de calcio como adición durante la molienda, Es decir: *Cemento Portland = Clinker Portland + Yeso*

2.2.1. Clasificación del cemento portland [Rivva, E. 2004:31]

La totalidad de los cementos empleados en el Perú son cementos portland tal como los 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 normada por requisitos específicos, estos son:

- a. **Tipo I.** De uso general, donde no se requiere propiedades especiales.
- b. **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.
- c. **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, o para uso en climas fríos.
- d. **Tipo IV.** De bajo calor de hidratación, recomendables para concretos masivos.
- e. **Tipo V.** Recomendables para ambientes muy agresivos por su alta resistencia a los sulfatos.

De estos cinco tipos en el Perú sólo se fabrican los Tipos I, II, y V.

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

Tabla 2.1
Fabricación de Cementos en el Perú

Nombre	Ubicación
Cementos Lima S.A.	Atocongo - Lima
Cementos Pacasmayo	Pacasmayo – La Libertad
Cemento Andino S.A.	Condorcocha – Tarma (Junin)
Yura S.A.	Yura - Arequipa
Cemento Sur S.A.	Caracote – Juliaca (Puno)
Cemento Rioja	Pucallpa - Ucayali

2.2.2. Características físicas y químicas del cemento Portland tipo I

2.2.2.1. Peso específico del cemento Portland [Rivva, E. 2004:84]

El peso específico del cemento corresponde al material al estado compacto. Su valor suele variar, para los cementos portland normales, entre 3.0 y 3.2. Las Normas Norteamericanas consideran un valor promedio de 3.15 y las Normas Alemanas e inglesas un valor promedio de 3.12. En el caso de los cementos combinados el valor es menor de 3.0 y depende de la fineza del material adicionado.

Su determinación es particularmente necesaria en relación con el control y diseño de las mezclas de concreto. Se sigue las recomendaciones de la *Norma ASTM C 188*.

2.2.2.2. Fineza del cemento Portland [Rivva, E. 2004:85]

La fineza de un cemento es función del grado de molienda del mismo y se expresa por su superficie específica, la cual es definida como el área superficial total, expresada en centímetros cuadrados, de todas las partículas contenidas en un gramo de cemento. Se asume que todas las partículas tienen un perfil esférico.

La importancia de la fineza de un cemento radica en la influencia que puede tener sobre la velocidad de hidratación, la resistencia inicial y el calor generado.

El valor de la fineza decide la calidad en el sentido más amplio, de modo que cuanto más elevado sea el grado de fineza del aglomerante acabado, mayor extensión tendrán las reacciones de hidrólisis, dando lugar a un mayor desarrollo en la formación de hidrosilicatos, hidroaluminatos y geles por unidad de volumen, aumentando los gradientes de resistencia a la compresión y a la flexotracción, sobre todo a corto plazo.

Efecto sobre las propiedades: Si bien el calor total generado y la resistencia en edades posteriores son algo mayores para los cementos más finos, el efecto de las mayores finezas se manifiesta principalmente durante el período inicial de hidratación.

La fragua de los cementos es más rápida y el agrietamiento más temprano conforme son más finos. Igualmente, a igualdad de relación agua-cemento, el flujo es menor para los cementos más finos; la exudación disminuye conforme la fineza se incrementa; y la absorción se incrementa con el grosor del grano.

La contracción parece ser una función lineal de la superficie específica. Los cementos más gruesos dan concretos menos durables debido a su mayor permeabilidad.

2.2.2.3. Fraguado[Rivva, E. 2004:87,88]

El término fraguado se refiere al cambio del estado fluido al estado sólido. Se dice que la pasta de cemento portland ha fraguado cuando está lo suficiente mente rígida como para soportar una presión arbitraria definida.

El tiempo de fraguado se divide en dos partes: el comienzo y el fin de la fragua, conocidos como la «fragua inicial» y la «fragua final». Cuando la pasta de cemento portland ha logrado la fragua final, empieza un nuevo período de incremento de su rigidez y resistencia denominado «endurecimiento»

El porcentaje de agua que se mezcla con el cemento tiene gran importancia sobre el tiempo de fraguado. Esta cantidad de agua se determina para cada tipo de cemento mediante el ensayo de consistencia normal.

Dentro de los valores usuales de fineza, de 3000 á 3300 cm²/gr, cuanto más fino es el cemento más rápido es la fragua, pudiendo los cementos demasiado finos tender a desarrollar fragua instantánea. Los altos contenidos de agua de la pasta demoran la fragua, e igualmente las bajas temperaturas también la retardan.

Es esencial que la fragua del cemento no sea ni demasiado rápida ni demasiado lenta. En el primer caso habría tiempo insuficiente para transportar y colocar el concreto antes que sea demasiado rígido. En el segundo de los casos se originarían retrasos en el trabajo y uso de la estructura.

2.2.2.4. Resistencias mecánicas [Rivva, E. 2004:89]

La resistencia mecánica del cemento endurecido es la propiedad física que define la capacidad del mismo para soportar esfuerzos sin falla y normalmente se emplea como uno de los criterios de aceptación por ser la más requerida desde el punto de vista estructural. No es por tanto sorprendente que los ensayos de resistencia sean prescritos en todas las especificaciones de cementos.

La resistencia de un cemento es función de su fineza, composición química, porcentaje de compuestos, grado de hidratación, así como del contenido de agua de la pasta. La velocidad de desarrollo de la resistencia es mayor durante el período inicial de endurecimiento y tiende a disminuir gradualmente en el tiempo. El valor de la resistencia a los 28 días se considera como la resistencia del cemento.

2.2.2.5. Retracción y expansión [Rivva, E. 2004:90]

La elevada porosidad de la pasta de cemento, que puede alcanzar al 40% del volumen para la hidratación completa, conjuntamente con la subdivisión muy fina de estos espacios porosos, da lugar a que se presenten durante la desecación y humidificación de la masa aglomerada variaciones volumétricas que se designan con los nombres de retracción y expansión.

Estas variaciones volumétricas dependen de factores tales como la humedad relativa ambiente; constitución de la pasta de cemento influenciada a su vez por la

relación agua-cemento; el tipo de cemento y su grado de hidratación; naturaleza y proporción de los granos de cemento; e influencia de anhídrido carbónico del aire.

La influencia de la capacidad de expansión o retracción de los cementos reside en que ella condiciona la posibilidad y magnitud de los cambios de volumen que pueden experimentar los elementos estructurales, cambios que cuando son importantes se manifiestan en agrietamiento de los elementos.

2.2.2.6. Calor de hidratación [Rivva, E. 2004:90,91]

El fraguado y endurecimiento de la pasta es un proceso químico por lo que, durante las reacciones que tienen lugar entre los compuestos del cemento y agua, la hidratación del cemento es acompañada por liberación de una cantidad de calor, la cual depende principalmente de la composición química y de la fineza del cemento.

De lo expuesto puede definirse al calor de hidratación como a la cantidad de calor, expresada en calorías por gramo de cemento no hidratado, desarrollada por hidratación completa a una temperatura determinada.

El calor de hidratación de los cementos normales es de 85 a 100 cal/gr., por lo que en las condiciones normales de construcción el calor se disipa rápidamente por radiación, siendo los cambios de temperatura dentro de la estructura relativamente pequeños y probablemente de pocas consecuencias.

Pero, en estructuras de concreto en grandes masas, la poca conductibilidad térmica de este material, que es un mal disipador del calor, impide la rápida radiación de éste último, pudiendo alcanzar la masa de concreto elevadas temperaturas. Estos aumentos de temperatura pueden ocasionar expansión mientras el concreto se está endureciendo y dar por resultado contracciones y agrietamiento al irse enfriando la masa hasta la temperatura ambiente.

2.2.2.7. Estabilidad de volumen [Rivva, E. 2004:94]

Se define como estabilidad de volumen de un cemento a la capacidad de éste para mantener un volumen constante una vez fraguado. Se considera que un cemento es

poco estable cuando tiende a sufrir un proceso de expansión lentamente y por un largo período de tiempo. El efecto de un cemento poco estable puede no ser apreciado durante meses, pero a la larga es capaz de originar fuertes agrietamientos en el concreto y aún fallas eventuales.

La falta de estabilidad de volumen es debida a la presencia de yeso o a un exceso de cal libre o magnesia, los cuales tienden a hidratarse y expandir.

2.3. Agua de mezcla y agua de curado [Rivva, E. 2004:254]

El agua, es un elemento de especial cuidado dentro el hormigón, debido al papel importante que desempeña, como agua de mezcla y principalmente como agua de curado.

El Agua de mezcla, cumple una doble función en el concreto, por un lado participa en la reacción de hidratación del cemento, y por otro confiere al concreto el grado de trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra. La cantidad de agua de amasado debe limitarse al mínimo estrictamente necesario para conferirle a la pasta la trabajabilidad requerida, según las condiciones en obra, ya que el agua en exceso se evapora y crea una red de poros capilares que disminuyen su resistencia.

El Agua de Curado es la más importante durante la etapa del fraguado y el primer endurecimiento. Tiene por objeto evitar la desecación, mejorar la hidratación del cemento y evitar la retracción prematura.

El Agua de Curado tiene una actuación más duradera que el Agua de Amasado, y por lo tanto se corre más riesgos al aportar sustancias perjudiciales con el Agua de Curado que con el Agua de Mezcla.

2.3.1. Requisitos de calidad del agua [Rivva, E. 2004:254,255]

El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de la *Norma NTP 339.088* y ser de preferencia, potable.

Está prohibido el empleo de aguas ácidas, calcaras, minerales ya sea carbonada o minerales; aguas provenientes de minas o relaves, aguas que contengan residuos industriales, agua con contenido de sulfatos mayor del 1%, agua que contenga algas, materia orgánica, humus o descargas de desagües, aguas que contengan azúcares o sus derivados. Igualmente aquellas aguas que contengan porcentajes significativos de sales de sodio o de potasio disueltas, en todos aquellos casos en que la reacción álcali-agregado es posible.

No existen criterios uniformes en cuanto a los límites permisibles para las sales y sustancias presentes en el agua que va a emplearse. A continuación se presenta, en partes por millón, los valores aceptados como máximos para el agua utilizada en el concreto.

- Cloruros..... 300 ppm.
- Sulfatos..... 300 ppm.
- Sales de magnesio..... 150 ppm.
- Sales solubles totales..... 500 ppm.
- PH..... Mayor de 7
- Sólidos en suspensión..... 1,500 ppm.
- Materia orgánica..... 10 ppm.

La *Norma Peruana NTP 339.088* considera aptas para la preparación y curado del concreto, aquellas aguas cuyas propiedades y contenidos de sustancias disueltas están comprendidos dentro de los siguientes límites:

- a. El contenido máximo de materia orgánica, expresada en oxígeno consumido, será de 3 mg/l (3ppm)
- b. El contenido de residuo insoluble no será mayor de 5 gr/l (5000 ppm)
- c. El pH estará comprendido entre 5.5 y 8.0
- d. El contenido de sulfatos, expresado como ion SO_4 , será menor de 0,6 gr/l (600 ppm)
- e. El contenido de cloruros, expresado como ion Cl, será menor de 1 gr/l (1000 ppm)

- f. El contenido de carbonatos y bicarbonatos alcalinos (alcalinidad total) expresada en NaHCO_3 , será menor de 1 gr/l (1000 ppm)
- g. Si la variación de color es un requisito que se desea controlar, el contenido máximo de fierro, expresado en ion férrico, será de 1 ppm.

El agua deberá estar libre de azúcares o sus derivados. Igualmente lo estará de sales de potasio o de sodio.

Si se utiliza aguas no potables, la calidad del agua, determinada por análisis de Laboratorio, deberá ser aprobada por la Supervisión.

2.4. Los agregados para el concreto [Rivva, E. 2004:16]

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la *Norma 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.

Un adecuado conocimiento de la naturaleza física y química del concreto, así como del comportamiento de éste, implica necesariamente el de los materiales que conforman la corteza terrestre, estudiados a la luz de la geología y, específicamente, de la petrología.

2.4.1. Clasificación de los agregados. [Rivva, E. 2004:17]

El agregado empleado en la preparación del concreto se clasifica en agregado fino, agregado grueso y hormigón, conocido este último como agregado integral.

Se define como agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el Tamiz de 3/8" y queda retenido en el tamiz N° 200. El más usual de los agregados finos es la arena, definida como el producto resultante de la desintegración natural de las rocas.

Se define como agregado grueso a aquel que queda retenido en el Tamiz N° 4 y es proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas. El agregado grueso suele clasificarse en grava y piedra triturada o chancada. La grava es el agregado grueso proveniente de la disgregación y abrasión natural de materiales pétreos. Se le encuentra generalmente en canteras y lechos de ríos depositado en forma natural. La piedra chancada, o piedra triturada, es el agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas y gravas.

Se define como hormigón, o agregado integral, al material conformado por una mezcla de arena y grava. Este material, mezclado en proporciones arbitrarias se da en forma natural en la corteza terrestre y se le emplea tal como se le extrae de la cantera.

2.4.2. Funciones del agregado [Rivva, E. 2004:17]

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.

2.4.3. Interrelación agregado-concreto [Rivva, E. 2004:17,18]

Las propiedades del concreto resultantes 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 si 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.
- d. 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.

2.4.4. Partículas perjudiciales en los agregados. [Rivva, E. 2004:184]

Las partículas que, en general, se consideran peligrosas para el agregado grueso son las partículas blandas, las delgadas y desmenuzables, los esquistos, las arcillas esquistas, las pizarras, las areniscas y calizas arcillosas, la chert porosa y deteriorada, las partículas recubiertas, las partículas laminadas, el carbón y el lignito, etc.

Todas las partículas mencionadas anteriormente pueden atacar al concreto en dos formas diferentes, por fallas bajo pequeños cambios de volumen, y por expansión considerable con la subsecuente fuerza destructora.

El carbón, la pirita y las lentes de arcilla contenidas dentro del agregado del concreto, pueden hacerlo descomponerse o cambiar de volumen cuando está expuesto a la acción del intemperismo. La presencia de partículas de carbón en el agregado reduce la resistencia del concreto a la acción destructiva de las heladas.

Igualmente, el agregado es contaminado por la presencia de limo, arcilla, mica, carbón, humus y otras materias orgánicas, todas y cada una de las cuales pueden incrementar los requisitos de agua, facilitar la disolución física, volver al agregado susceptible a la acción del intemperismo, inhibir el desarrollo de adherencia máxima entre el cemento hidratado y el agregado, o reaccionar químicamente con los ingredientes del cemento.

Las fracciones extremadamente finas presentes en el agregado, que pasan el Tamiz N° 200, son comúnmente clasificadas como «limo» o «arcilla y limo» y no deben ser permitidas, de acuerdo a las recomendaciones de la *Norma ASTM C 33*, en porcentajes mayores del 3% al 5%. Esta limitación es debida a su tendencia a incrementar los requisitos de agua de la mezcla, con lo que contribuye a disminuir la resistencia y durabilidad. En relación con lo indicado, se consideran como una excepción determinados materiales finamente granulados incluyendo las microsílices, las cenizas, las escorias de alto horno finamente granuladas, las puzolanas, la piedra pómez, y la tierra de diatomeas. Todas ellas algunas veces son empleadas, finamente molidas como adiciones minerales dado que pueden incrementar la trabajabilidad, resistencia y durabilidad del concreto a través de su acción puzolánica.

Debe considerarse aquellas partículas que se expanden causando destrucción del concreto. Ellas incluyen principalmente calizas, arcillas expansivas y horsteno poroso. Tales materiales, cuando se congelan en condición saturada o, en algunos casos, simplemente cuando están expuestos al agua, incrementan en volumen con el desarrollo de presiones suficientes como para causar destrucción del concreto.

Otra categoría de sustancias incluye partículas tales como areniscas blandas, ocres y lentes de arcilla. Su contribución a la destrucción del concreto resulta de la incapacidad de las partículas para mantener su integridad. Dependiendo del porcentaje con que están presentes en el agregado, el deterioro puede ser general o, mas a menudo, el daño puede evidenciarse inicialmente por descascaramiento superficial del concreto.

Otras partículas dañinas son las muy blandas entre las que se encuentran los lentes de arcilla, esquistos, carbón y lignito. En las pequeñas cantidades en las que generalmente se presentan pueden no tener efecto fundamental sobre la durabilidad, pero atentan contra la apariencia por descascaramiento superficial.

2.4.4.1. Partículas perjudiciales en el agregado fino. [Rivva, E. 2004:181]

El agregado fino no deberá indicar presencia de materia orgánica cuando ella es determinada de acuerdo a los requisitos de la *NTP 400.013*. Podrá emplearse agregado fino que no cumple con los requisitos de la norma indicados siempre que:

El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado fino no deberá exceder de los siguientes límites según la ACI:

- Lentes de arcilla y partículas desmenuzables.....3%
- Material más fino que la Malla N°200:
 - Concretos sujetos a abrasión.....3%
 - Otros concretos.....5%
- Carbón:
 - Cuando la apariencia superficial del concreto es importante.....0.5%
 - Otros concretos.....1%

2.4.4.2. Partículas perjudiciales en el agregado grueso [Rivva, E. 2004:184]

El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado grueso no deberá exceder de los siguientes valores según la ACI:

- Arcilla0.25%
- Partículas deleznable.....5.00%
- Material más fino que pasa la malla N ° 200.....1.00%
- Carbón y lignito:
 - Cuando el acabado superficial del concreto es de importancia.....0.50%
 - Otros concretos.....1.00%

El agregado grueso cuyos límites de partículas perjudiciales excedan a los indicados, podrá ser aceptado siempre que en un concreto preparado con agregado de la misma procedencia; haya dado un servicio satisfactorio cuando ha estado expuesto de manera similar al estudiado; o en ausencia de un registro de servicios siempre que el concreto preparado con el agregado tenga características satisfactorias, cuando es ensayado en el laboratorio.

2.5. Materiales Muy Finos de los Agregados o Material que pasa la malla N°200 (MMF)

El material muy fino de un tamaño de grano menor 0.075 mm, constituido por arcilla limo y en algunos casos polvo de roca⁸, se presenta recubriendo la grava⁹ del agregado grueso y Agregado fino, o mezclado con la arena¹⁰ del Agregado fino. En el primer caso afecta la adherencia del agregado y la pasta; en el segundo, incrementa los requerimientos de agua de la mezcla. En principio, un moderado porcentaje de elementos muy finos puede favorecer la trabajabilidad, pero su incremento afecta la resistencia del concreto. [Rivva, E. 2004:149]

La Norma ASTM C 33 recomienda, para los porcentajes máximos de material fino que pasa la Malla N° 200 un valor del 3% en el agregado fino que se va a emplear en concretos sujetos a procesos abrasivos y del 5% en los otros concretos. En el caso del agregado grueso un valor máximo del 1%, excepto en el caso de agregados triturados en los que si el fino es polvo de roca se acepta hasta un máximo del 1.5%.

Debido a su alta fineza y gran área superficial, incrementen el volumen de agua necesario en la mezcla.

⁸ El polvo de roca procede del proceso artificial de trituración de los agregados. [Rivva, E. 2004:150]

⁹ Las gravas son fragmentos de rocas ocasionalmente con partículas de cuarzo, feldespato y otros minerales, Según el sistema unificado de clasificación de suelos tiene un tamaño de grano comprendido entre 4.75mm y 76.2mm. [Braja, D. 2001:2,3]

¹⁰ La arena está formada principalmente de cuarzo y feldespatos, aunque también están presentes, a veces otros granos misceláneos, Según el sistema unificado de clasificación de suelos tiene un tamaño de grano comprendido entre 0.075mm y 4.75mm. [Braja, D. 2001:2,3]

2.5.1. El limo como Material Muy Fino en los agregados para el concreto.

Los limos son fracciones microscópicas de suelo que consisten en granos muy finos de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas que son fragmentos de minerales misceláneos, Según el Instituto técnico de Massachusetts los limos tienen un tamaño de partículas comprendido entre 0.002mm y 0.06mm. [Braja, D. 2001:2,3]

Tanto el limo como el polvo de roca pueden formar revestimientos o presentarse en forma de partículas sueltas no adheridas al agregado. Un exceso de ambos hace que, debido a su alta fineza y gran área superficial, se incremente el volumen de agua necesario en la mezcla.

2.5.2. La arcilla como Material Muy Fino en los agregados para el concreto.

Las arcillas son principalmente partículas submicroscópicas en formas de escamas, minerales arcillosos y otros minerales. Según el Instituto técnico de Massachusetts las arcillas tienen un tamaño de partículas menores a 0.002mm. Las partículas se clasifican como arcillas en base en su tamaño y no contienen necesariamente minerales arcillosos. Las arcillas se definen como aquellas partículas que desarrollan plasticidad cuando se mezclan con una cantidad limitada de agua. [Braja, D. 2001:3]

Los minerales arcillosos son complejos silicatos de aluminio compuestos de una o dos unidades básicas: tetraedros de sílice y octaedros de alúmina. La combinación de unidades de tetraedros de sílice da una lámina de sílice, y la combinación de las unidades octaédricas de hidroxilos de aluminio una lámina octaédrica (también llamada lámina de gibbsita). En ocasiones el magnesio reemplaza los átomos de aluminio en las unidades octaédricas; en tal caso, la lámina se llama lámina de brucita. La caolinita consiste en capas repetidas de láminas elementales de sílice-gibbsita sílice, cada capa se mantienen unidas entre sí por enlaces hidrogénicos; La illita consiste en una lámina de gibbsita enlazada en dos láminas de sílice, una arriba y otra abajo, las capas de illita están unidas entre sí por iones de potasio; La monmorilonita tiene una estructura similar a la illita, es decir una lámina de gibbsita intercalada entre dos láminas de sílice, los iones de potasio no están aquí presentes

como en el caso de la illita y una gran cantidad de agua es atraída hacia los espacios entre las capas. Además de la caolinita, illita y monmorilonita, otros minerales arcillosos comunes que generalmente encontrados son clorita, haloisita, vermiculita y atapulgita [Braja, D. 2001:5,6]

Las partículas de arcilla llevan una carga neta negativa sobre la superficie, resultado de una sustitución isomorfa y de una ruptura en la continuidad de la estructura en sus bordes. En la arcilla seca, la carga negativa es balanceada por cationes intercambiables como Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ , que rodean a las partículas mantenidas juntas por atracción electro estática, cuando se agrega agua a la arcilla, se produce que estos cationes y un pequeño número floten alrededor de las partículas de arcilla. A esto se le llama *capa difusa doble*. El agua dipolar es atraída por la superficie cargada negativamente de las partículas de arcilla y por los cationes de la capa doble, un tercer mecanismo por el cual el agua es atraída a las partículas de arcilla es el *enlace hidrogénico*, en el que los átomos de hidrógeno en las moléculas de agua son compartidos con átomos de oxígeno sobre la superficie de la arcilla. Toda el agua mantenida unida a las partículas de arcilla por fuerza de atracción se conoce como *agua de capa doble*. La capa interior del agua de capa doble, que se mantiene unida muy fuertemente por la arcilla, se conoce como *agua absorbida* y es más viscosa que el agua libre. La orientación del agua alrededor de las partículas de arcilla da a los suelos arcillosos sus propiedades plásticas. [Braja, D. 2001:6]

Entonces por lo expuesto, debido las propiedades químicas de las arcillas, estas generan plasticidad absorbiendo agua, esta plasticidad puede mejorar la trabajabilidad del concreto en estado no endurecido, pero además vuelve a la mezcla menos consistente, comprometiendo así el correcto curado del concreto y su resistencia, además cabe agregar la disminución que produce del volumen de agua necesario para la mezcla, debido a sus propiedades químicas, alta fineza y gran área superficial.

Las arcillas están sujetas a procesos de dilatación y contracción por absorción y deshidratación, y cuando ellas están presentes como elementos constituyentes de

las rocas, como en el caso de las calizas, esta capacidad de absorción incrementa la susceptibilidad de la roca a la desintegración por acción del intemperismo.

Las arcillas pueden atacar al concreto en dos formas diferentes, por fallas bajo pequeños cambios de volumen, y por expansión considerable con la subsecuente fuerza destructora. Igualmente, el agregado es contaminado por la presencia de arcillas pueden incrementar los requisitos de agua, facilitar la disolución física, volver al agregado susceptible a la acción del intemperismo, inhibir el desarrollo de adherencia máxima entre el cemento hidratado y el agregado, o reaccionar químicamente con los ingredientes del cemento. [Riva, E. 2004:224]

2.5.3. Revestimientos en los agregados para el concreto

Según Riva, E. (2004:150) Los revestimientos pueden formarse sobre los agregados debido a la deposición, por parte de las aguas, de sustancias minerales sobre la superficie de las partículas. Generalmente esta deposición es mayor en las partículas de agregado grueso.

Los revestimientos pueden ser de arcilla, limo, o carbonato de calcio. También pueden presentarse óxido de hierro, ópalo, yeso, fosfatos solubles, sulfatos, etc. Todos estos tipos de inclusiones afectan la calidad del concreto.

Los revestimientos pueden variar en espesor de fracciones de milímetros a muchos; el área cubierta puede ser muy pequeña u ocupar casi la totalidad del agregado; variar de densos y duros a porosos y blandos; y pueden estar sueltos o firmemente adheridos a la superficie de las partículas.

Los revestimientos blandos o pobremente adheridos pueden ser removidos de las partículas durante el proceso de tratamiento de lavado de los agregados. Los revestimientos duros y bien adheridos, si son químicamente estables, tienen pequeño o ningún efecto peligroso en las propiedades del agregado.

Si los revestimientos son químicamente reactivos y no pueden ser económicamente removidos, los agregados afectados no deberán ser empleados en el concreto.

2.6. Diseño de mezclas de concreto

Según *Rivva, E. (2010:12)* El concreto es un material heterogéneo el cual está compuesto principalmente de la combinación de cemento, agua y agregados fino y grueso. El concreto contiene un pequeño volumen de aire atrapado, y puede contener también aire intencionalmente incorporando, mediante el empleo de un aditivo.

La selección de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto, conocida usualmente como diseño de mezcla, puede ser definida como el proceso de selección de los ingredientes más adecuados y de la combinación más conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un producto que en el estado no endurecido tenga la trabajabilidad y consistencia adecuadas; y que endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador.

Estos criterios permiten obtener una primera aproximación de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cubica de concreto. Estas proporciones, sea cual fuere el método empleado para determinarlas, deberán ser consideradas como valores de prueba sujetos a la revisión y ajustes sobre la base de resultados obtenidos.

La selección de las proporciones de la unidad cubica de concreto deberá permitir que éste alcance a los 28 días, o a la edad seleccionada, la resistencia en compresión promedio elegida. El concreto deberá ser dosificado de manera tal de minimizar la frecuencia de resultados de resistencia inferiores a la resistencia de diseño especificada.

La certificación del cumplimiento de los requisitos para la resistencia de diseño especificada se basará en los resultados de ensayo de probetas cilíndricas estándar de 15 x 30 cm; preparadas y ensayadas de acuerdo a las *Normas ASTM C 31 y C 39 o NTP 339.033 ó 339.034*.

2.6.1. Contenido de agua

El agua que se coloca en la mezcla es, por razones de trabajabilidad, siempre mayor que aquella que se requiere por hidratación del cemento; siendo ésta última conocida como agua de consistencia normal y estando su valor en el orden del 28% en peso del cemento.

La selección del volumen unitario de agua se refiere a la determinación de la cantidad de agua que se debe incorporar a la mezcladora, por unidad cúbica de concreto, para obtener una consistencia determinada cuando el agregado está en estado no endurecido. *[Rivva, E. 2013:53]*

2.6.2. Contenido de aire.

Las burbujas de aire pueden estar presentes en la pasta como resultado de las operaciones propias del proceso de puesta en obra, el cual depende del aporte de los materiales, las condiciones de operación, la granulometría, y el tamaño máximo del agregado, este aire se le conoce como aire atrapado o aire natural; o pueden encontrarse en la mezcla debido a que han sido intencionalmente incorporados a ella, en cuyo caso se les conoce como aire incorporado. *[Rivva, E. 2013:57]*

2.6.3. Relación agua/cemento por resistencia.

Desde que la mayoría de las propiedades deseables en el concreto endurecido dependen de la calidad de la pasta, producto final del proceso de hidratación del cemento, se considera que una de las etapas fundamentales en la selección de las proporciones de una mezcla de concreto es la elección de la relación agua/cemento más adecuada.

La relación agua/cemento de diseño se refiere a la cantidad de agua que interviene en la mezcla cuando el agregado está en condición de saturado superficialmente seco, es decir, no toma ni aporta agua. La relación agua /cemento efectiva se refiere a la cantidad de agua de la mezcla cuando no se tiene en consideración la relación real de la humedad del agregado. *[Rivva, E. 2013:61]*

2.6.4. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.

Según *Rivva, E. (2013:82,83)* las cantidades de agregado que deben ser pesadas para preparar el concreto deberán considerar la humedad de aquel. Generalmente en obra los agregados están en condición húmeda y su peso seco debería incrementarse en el porcentaje de agua que ellos contienen, tanto la absorbida como la superficial.

El agua de mezclado incorporada a la mezcladora deberá ser reducida en un volumen igual a la humedad superficial o humedad libre aportada por los agregados, considerándose como tal al contenido de humedad del agregado menos su porcentaje de absorción.

El agregado, desde el punto de vista de la humedad puede presentarse en cuatro condiciones:

- a. **Seco**, cuando superficie como sus poros internos están totalmente libres de agua. Esta es una condición teórica para la cual se calcula los contenidos de agregado fino y grueso antes de corregir la mezcla por humedad del agregado.
- b. **Semiseco**, cuando la superficie del agregado está seca pero sus poros internos están parcialmente llenos de agua. Esta condición es también conocida como secado al aire. Ella siempre es menor que la absorción del agregado.
- c. **Saturado superficialmente seco**, cuando la superficie del agregado está húmeda, pero la totalidad de sus poros internos están llenos de agua. Se considera la condición ideal del agregado, porque en ella ni aporta, ni toma agua de la mezcla.

- d. **Húmedo o mojado**, cuando el agregado está saturado superficialmente seco y adicionalmente presenta humedad superficial, la cual puede contribuir a incrementar el agua de mezclado y obliga a una corrección en la mezcla por humedad del agregado.

La humedad superficial está dada por la diferencia entre el contenido de humedad y el porcentaje de absorción. Puede ser positiva en cuyo caso el agregado aporta agua a la mezcla y dicha cantidad debe ser disminuida del agua de diseño para determinar el agua efectiva; o puede ser negativa, en cuyo caso el agregado tomará agua de la mezcla para llevar al estado de saturado superficialmente seco, debiendo adicionarse dicha cantidad de agua a la mezcla para no modificar el agua de diseño.

En la corrección de las proporciones de la mezcla por condición de humedad del agregado pueden presentarse tres casos: (a) que ambos agregados porten aguas a la mezcla; (b) que unos de los agregados aporte agua y el otro quite agua a la mezcla; y (c) que ambos agregados disminuyan el agua de la mezcla.

2.6.5. Ajuste de las proporciones

Según *Rivva, E. (2010:155)*, Finalizado el diseño de una mezcla de concreto, las proporciones calculadas para la unidad cúbica de concreto deberán ser comprobadas por medio de mezclas de prueba preparadas en el laboratorio y ensayadas de acuerdo a los requerimientos de la *Norma ASTM C 192*.

En la preparación de las mezclas de prueba, se deberá emplear la cantidad de agua necesaria para obtener la trabajabilidad y asentamiento requeridos, según lo que se consideró en las condiciones que debería cumplir el concreto en estado no endurecido; Independientemente de si dicha cantidad de agua corresponde al volumen teórico.

Efectuado el paso anterior, la obtención del asentamiento deseado, deberá comprobarse el peso unitario y rendimiento de la unidad cúbica de concreto,

siguiendo las indicaciones de la *Norma ASTM C 138*, Adicionalmente a la comprobación de la trabajabilidad, se deberá verificar que no existe segregación, así también, que el concreto posea las propiedades de acabado que se requiera.

2.7. Propiedades del concreto en estado no endurecido.

2.7.1. Trabajabilidad

Se entiende por trabajabilidad a aquella propiedad del concreto en estado no endurecido, la cual determina su capacidad para ser manipulado, transportado, colocado, y consolidado adecuadamente, con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad; así como para ser acabado sin que presente segregación. [Rivva, E. 2010:26]

2.7.2. Consistencia

La consistencia del concreto es una propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma; entendiéndose con ello que cuando más húmeda es la mezcla, mayor será a facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación. [Rivva, E. 2010:28]

Las Normas Alemanas clasifican al concreto no endurecido de acuerdo a su consistencia en tres grupos:

- 1. Concretos consistentes o secos:** son definidos como aquellos los cuales tienen la cantidad de agua necesaria para tener humedad superficial, para luego de virados, este concreto quede blando y unido.
- 2. Concretos plásticos:** son definidos como aquellos que contienen el agua necesaria para dar al agua una consistencia pastosa.
- 3. Concretos fluidos:** son aquellos que han sido amasados con tanta agua que la mezcla fluye como una pasta blanda.

En la actualidad en el caso de consistencia se acepta una correlación entre la Norma Alemana y los criterios norteamericanos, considerándose que:

- Consistencias secas corresponden asentamientos de 1"-2" (25 a 50 mm)
- Consistencias plásticas corresponden asentamientos de 3"-4" (75 a 100 mm)
- Consistencias fluidas corresponden asentamientos de 6"-7" (150 a 175 mm)

2.8. Propiedades del concreto en estado endurecido.

2.8.1. Peso unitario del concreto.

Se define como densidad del concreto a la relación del volumen de sólidos al volumen total de una unidad cúbica. Puede también entenderse como el porcentaje de un determinado volumen del concreto que es material sólido.

El peso unitario del concreto es el peso varillado de una muestra representativa del concreto. Se expresa en kilos por metro cúbico.

La gravedad específica y la cantidad de cada agregado deberán afectar el peso unitario resultante de la mezcla fresca. Con agregados de alta porosidad el peso unitario del concreto puede variar dependiendo de si la absorción ha sido satisfecha por pre humedecimiento del agregado antes de la dosificación.

Las variaciones en las propiedades del agregado pueden afectar el peso unitario y la densidad del concreto en forma diferente. Se puede tener modificaciones en el peso unitario del agregado las cuales incrementen o disminuyan el peso unitario del concreto sin afectar la densidad del mismo.

El peso unitario de los concretos livianos, preparados ya sea con agregado grueso natural o artificial de baja gravedad específica puede estar en valores de 480 a 1600 kg/m³. El peso unitario de los concretos pesados, preparados ya sea con agregado grueso natural o artificial de alta gravedad específica, puede elevarse hasta los 5,000 kg/m³. [Rivva, E. 2004:213]

2.8.2. Resistencia a compresión

La resistencia del concreto es definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin romperse. Dado que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad. [Rivva, E. 2010:29]

Notaciones:

$f'c$: Resistencia en compresión especificada del concreto, utilizada por el ingeniero calculista e indicada en los planos y especificaciones de obra, se expresa comúnmente en Kg/cm^2

$f'cr$: Resistencia en compresión promedio requerida, utilizada para la selección de las proporciones de los materiales que intervienen en la unidad cubica de concreto, se expresa comúnmente en Kg/cm^2

2.8.3. Módulo de elasticidad del concreto.

El módulo de elasticidad del concreto depende del módulo de elasticidad y relación de Poisson del agregado. Tanto en compresión como en tensión la curva esfuerzo-deformación para las rocas tiene una relación prácticamente lineal, indicando que el agregado es razonablemente elástico. Por otra parte, el mortero tiene una relación esfuerzo-deformación curvada cuando los esfuerzos exceden del 30% de la resistencia última. Ello es debido al comportamiento no lineal de la pasta y a la formación de grietas de adherencia y deslizamiento en la interface agregado-pasta. Debido a ello no hay una relación simple entre los módulos de elasticidad del concreto y el agregado.

Las investigaciones han permitido determinar que el módulo de elasticidad del concreto es una función del módulo de elasticidad de sus constituyentes y que, para una pasta dada, el módulo de elasticidad del agregado tiene un efecto menor sobre el módulo de elasticidad del concreto que aquel que puede ser estimado a partir de las proporciones volumétricas del agregado en el concreto.

En general, conforme el módulo de elasticidad del agregado se incrementa ocurre lo mismo con el del concreto, por lo que conforme el volumen de agregado se incrementa el módulo de elasticidad del concreto deberá aproximarse al del agregado. En general se recomienda que cuando el módulo de elasticidad del concreto puede ser conocido en forma bastante segura, se realicen ensayos en concreto en vez de calcular el módulo de elasticidad a partir de las propiedades del agregado. [Rivva, E. 2004:245,246]

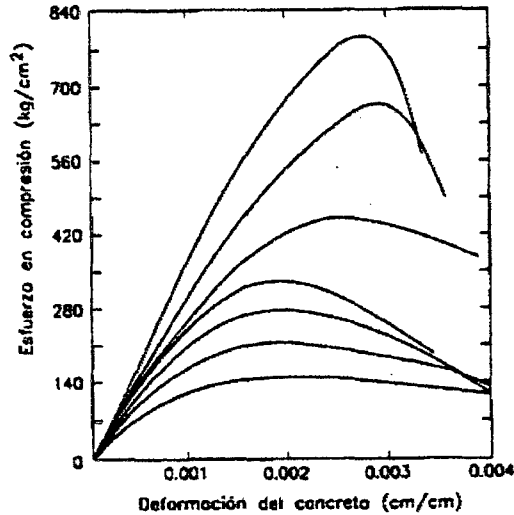
2.8.3.1. Relación de esfuerzo-deformación del Esfuerzo a compresión

[Harmsen, T. 2005]

En el *Gráfico 2.1* se muestran curvas esfuerzo-deformación para concretos normales de diversas resistencias a la compresión. Las gráficas tienen una rama ascendente casi lineal cuya pendiente varía de acuerdo a la resistencia y se extiende hasta aproximadamente $1/3$ a $1/2$ de f_c . Posteriormente adoptan la forma de una parábola invertida cuyo vértice corresponde al esfuerzo máximo en compresión. La deformación correspondiente a este punto es mayor para los concretos más resistentes. Sin embargo, para los de menor resistencia es casi constante e igual 0.002 . La rama descendente de las gráficas tiene una longitud y pendiente que varía de acuerdo al tipo de concreto. Para concretos de resistencias bajas tiende a tener menor pendiente y mayor longitud que para concretos de resistencias mayores. De ello se deduce que los concretos menos resistentes son los más dúctiles.

Gráfico 2.1

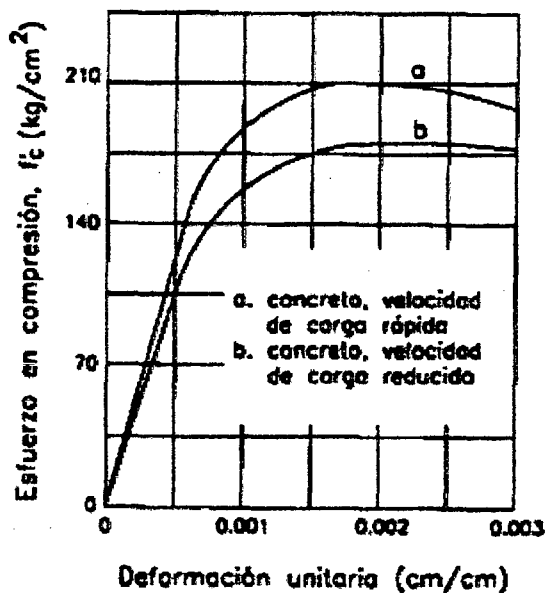
Curva esfuerzo-deformación del concreto en compresión.



La curva esfuerzo-deformación del concreto varía de acuerdo a la velocidad de aplicación de la carga como se muestra en el *Gráfico 2.2*. Si ésta se incrementa a un ritmo mayor, la resistencia máxima obtenida es mayor que si la carga se incrementa a razón menor. Este efecto debe tenerse presente cuando se analice los resultados de las pruebas estándar elaboradas en el laboratorio.

Gráfico 2.2

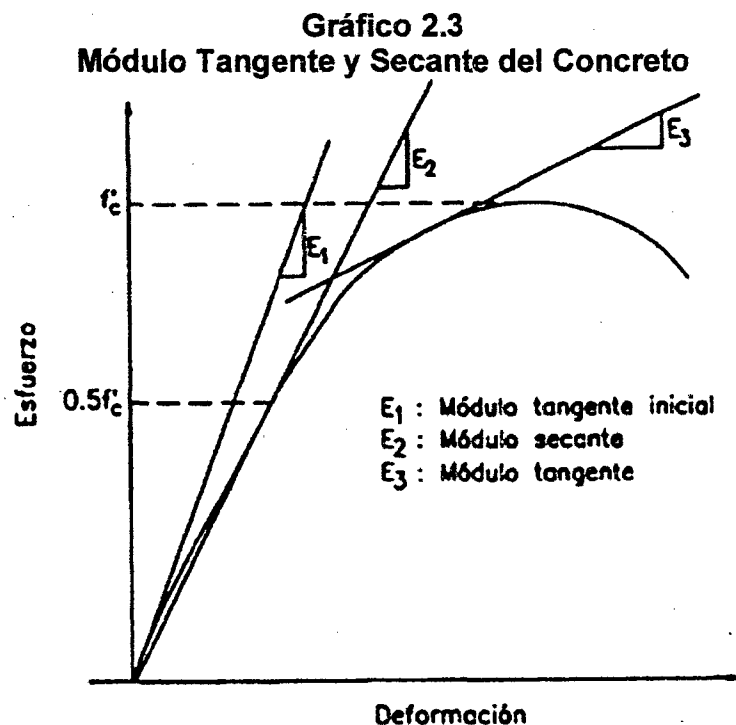
Efecto de la velocidad de carga en la resistencia a la compresión del concreto



El módulo de elasticidad de un material es un parámetro que mide la variación de esfuerzo en relación a la deformación en el rango elástico. Es función del ángulo de la línea esfuerzo – deformación y es una medida de la rigidez o resistencia a la deformación de dicho material. El concreto presenta un comportamiento elastoplástico y por ello los esfuerzos no son directamente proporcionales a la deformación. Por lo anterior, ha sido necesario definir términos como módulo secante y módulo tangente en un intento por convenir un valor para el módulo de elasticidad del concreto.

El módulo tangente se define como la pendiente de la recta tangente a la curva esfuerzo-deformación en un punto de ella. En particular, el módulo tangente que corresponde al esfuerzo nulo se denomina módulo tangente inicial. La determinación de este parámetro es difícil pues la recta tangente en el origen no está bien definida. Por su parte, el módulo secante es la pendiente de una recta secante a la curva, que une el punto de esfuerzo cero con otro cualquiera de la curva.

El módulo secante es más fácil de determinar que el módulo tangente, por ello, es el más utilizado (Gráfico 2.3).



Para definir el módulo de elasticidad del concreto, el ACI emplea el concepto de módulo secante y propone en el reglamento ACI 318 y en la Norma Técnica E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones la siguiente fórmula:

$$E_c: 0.14 \times w^{1.5} \sqrt{f'_c} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dónde:

E_c : Módulo de Elasticidad del concreto

w : Peso Unitario del concreto en Kg/m^3 , solo para valores dentro de 1440 y 2480 Kg/m^3

f'_c : Resistencia a compresión del concreto en Kg/m^2

Capítulo

III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. La Cantera de estudio

3.1.1. Ubicación

Los agregados de estudio se obtuvieron de la cantera “Huayrapongo” ubicado al sureste de la ciudad de Cajamarca, en la orilla del río Cajamarquino, en el caserío Huayrapongo, ubicado en el distrito de Baños del Inca, provincia y departamento de Cajamarca. Geográficamente en las coordenadas 1778084.93 Este y 9204943.68 Norte, a una altitud de 2630 m.s.n.m.

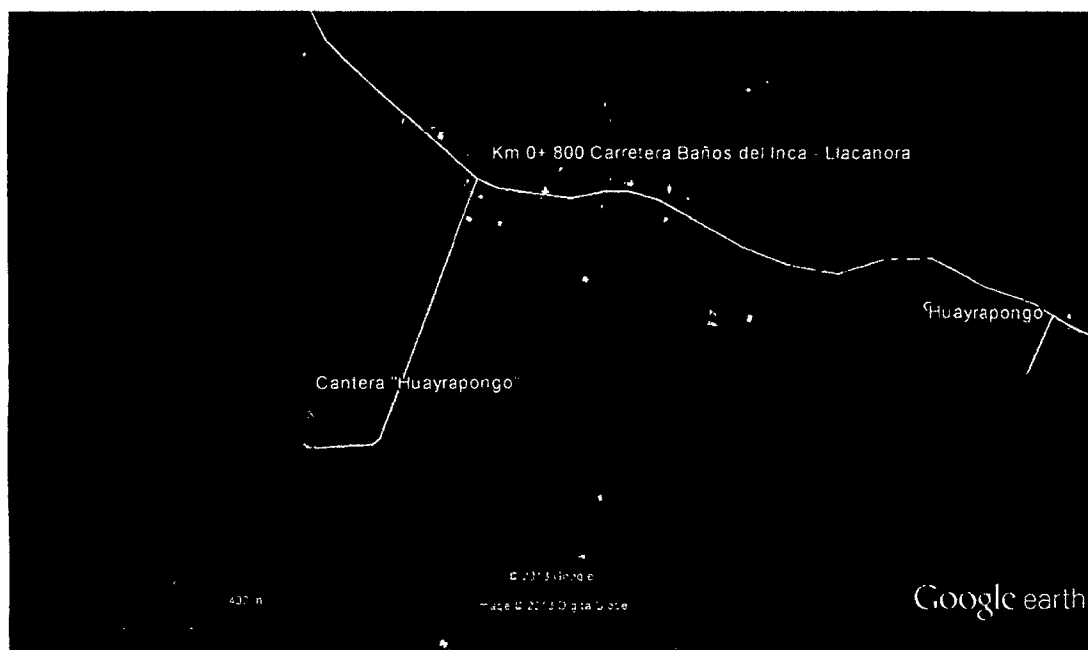


Imagen N° 01: Fotografía satelital, ubicación de la cantera “Huayrapongo”, Fuente: Google earth (Año 2013)

3.1.2. Geología.

La zona de la cantera es de depósitos fluviales los cuales se encuentran a lo largo del cauce y orillas del río Cajamarquino. Son de edad Holocena¹¹. Los depósitos fluviales (*Q-fl*) son Constituidos por materiales que se encuentran dentro, cerca y bordeando los cauces de los ríos y las terrazas que se han formado durante el desarrollo geológico reciente de los mismos. Están compuestos mayormente por cantos rodados, gradando desde planares a casi esféricos; en los planares, y en los semiangulosos se encuentran erosionados sus bordes. Las geoformas de los cantos nos indican la distancia y origen de los materiales que fueron erosionados y transportados por los ríos. Así la zona presenta cantos volcánicos traquíticos y andesíticos, calcáreos, margosos, graníticos, dioríticos, cuarzosos, lutíticos, así como cantos indiferenciados. Actualmente, siguen acumulándose como consecuencia de las inundaciones que se presentan en la estación lluviosa y van formando terrazas escalonadas. [INDECI, 2005:26]

Así mismo el valle del distrito de Baños del Inca donde se ubica nuestra cantera es de depósitos Cuaternarios. Este tipo de depósitos presenta depósitos semi consolidados o no consolidados, los que se encuentran en una secuencia estratigráfica infrayaciendo los depósitos morrenicos y fluviglaciáricos, hasta encontrar en las partes superficiales los depósitos fluviales modernos. [INDECI, 2005:23]

La litología¹² de la zona presenta una gran heterogeneidad, pasando de sedimentarias (areniscas de grano diverso, calizas, gneis, etc.) a ígneas extrusivas (brechas volcánicas de diferente naturaleza, derrames andesíticos, etc.).

3.1.3. Extracción de agregados

El material se encuentra distribuido naturalmente a lo largo del del río Cajamarquino en una extensión aproximada de 200 metros (que es la extensión de la cantera de

¹¹ Holocena: adj. Geol. Se dice de la época más reciente del período cuaternario, que abarca desde hace unos 10 000 años hasta nuestros días /*Diccionario de la Real Academia Española* © Todos los derechos reservados

¹² Litología: Parte de la geología que trata de las rocas. /*Diccionario de la Real Academia Española* © Todos los derechos reservados

estudio), en una capa aproximada de 1 metro de profundidad; Este se extrae de la orilla y del cauce del rio mediante un cargador frontal de 3 metros cúbicos, para luego ser apilado en grandes volúmenes cerca del lugar de lavado y tamizado.

Para separar el material en distintos tamaños, se utilizan mallas de tamizado de 3" para el over (piedra grande), de 3/8" para separar el agregado grueso y el agregado fino. Este tamizado se realiza mediante gravedad con ayuda de grandes cantidades de agua, utilizando para esto una motobomba de 16 HP, que extrae el agua de unas lagunas artificiales.

Luego, el material tamizado es apilado mediante un cargador frontal, en una zona de carga, donde puede ser tamizado nuevamente, según el tamaño máximo que se requiera.



Imagen N° 02: Bombeo de agua de lagunas artificiales para la separación de agregado.



Imagen N° 03: Separación de agregado con ayuda de bombeo de agua.

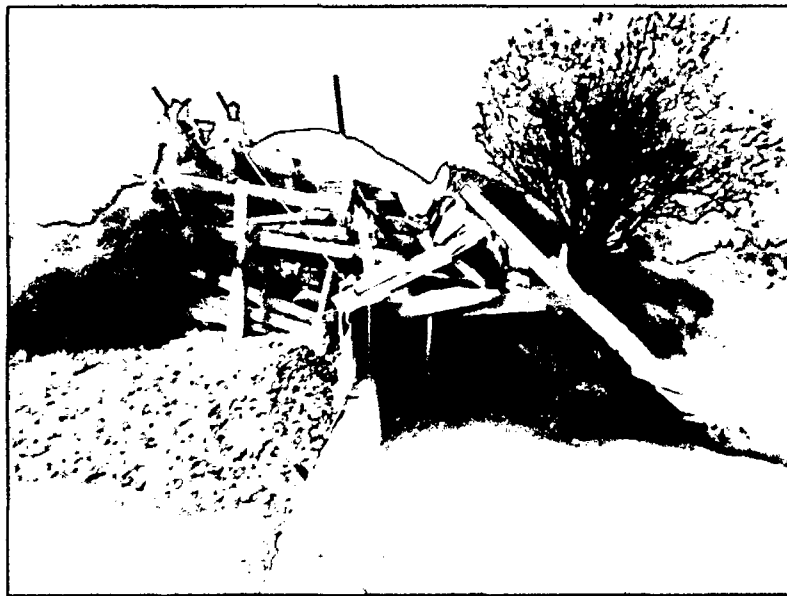


Imagen N° 04: Separación del agregado en distintos tamaños utilizando 3 mallas de diferente diámetro.

3.1.4. Obtención por muestreo y transporte al laboratorio de los agregados de estudio de la cantera

Para la obtención del agregado fino y grueso de estudio se realizaron los procedimientos de muestreo descritos en la *Norma ASTM D75 – “Muestreo de*

agregados”, donde describe que para la obtención de agregados almacenados en pilas se debe seguir los siguientes pasos:

- Para agregado grueso, tomar la muestra en tres lugares, de la parte superior de la pila, del punto medio, y del fondo de la pila.
- Para agregado fino, es necesario tomar la muestra que se encuentra bajo el material superficial, en tres lugares aleatorios.

Así los agregados obtenidos fueron colocados en sacos de plástico en buenas condiciones para evitar que se pierda el MMF, luego fueron transportados en un volquete a las instalaciones del laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNC

3.2. Tratamientos por lavado de los agregados:

Para el estudio, se requería obtener agregados con diferentes porcentajes de material muy fino (MMF), por lo que se sometió a los agregados que se obtuvieron de la cantera a distintas intensidades de lavado. Este lavado se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNC, obteniéndose tres tipos de agregado, tanto como para el agregado fino y para el agregado grueso, como se expone a continuación:

a. Agregado Fino Sin Lavado (AF-SL)

Es el agregado fino, tal y como se obtuvo de la cantera, este agregado solo fue tamizado por la malla de 3/8” para separar el agregado que no cumple con la clasificación de agregado fino según la norma *NTP 400.011* o *ASTM C33*.

b. Agregado Fino Medio Lavado (AF-ML)

Este agregado fue tamizado por la malla de 3/8” y fue lavado de la siguiente forma: Se lavó 3 veces cada pie³ de agregado. Para cada lavada se utilizó un volumen de agua igual al volumen de agregado fino suelto a ser lavado (1 pie³ de agua por 1 pie³ de agregado fino suelto), esto se realizó en una carretilla de 3 pie³. Cada lavada consistió en mover el agregado y el agua unas 14 veces con ayuda de una palana,

hasta que el material muy fino se encuentre suspendido en el agua, para luego decantar ésta y así proceder a la siguiente lavada.

Se utilizó este modo y cantidad de lavadas ya que con esto se observaba que en la tercera y última lavada presentaba el agua con la mitad de turbidez que en la primera lavada.

c. Agregado Fino Bien Lavado (AF-BL)

Este agregado fue tamizado por la malla de 3/8" y fue lavado 9 veces cada pie³ de agregado. Las lavadas fueron del mismo modo que se lavó el Agregado Fino Medio Lavado.

Se utilizó este modo y cantidad de lavadas ya que con esto se observaba que en la novena y última lavada presentaba el agua casi cristalina.



Imagen N° 05: Lavado del agregado fino en carretillas

d. Agregado Grueso Sin Lavado (AG-SL)

Es el agregado grueso, que consiste en un agregado redondeado (grava natural) tal y como se obtuvo de la cantera. Este agregado solo fue tamizado por la malla de 1" para obtener un agregado grueso de este tamaño máximo. No fue lavado de ninguna forma.

e. Agregado Grueso Medio Lavado (AG-ML)

Este agregado fue tamizado por la malla de 1" y se lavó 2 veces cada pie^3 . Para cada lavada se utilizó un volumen de agua igual al volumen de agregado grueso suelto a ser lavado (1 pie^3 de agua por 1 pie^3 de agregado grueso suelto), esto se realizó en una carretilla de 3 pie^3 . Cada lavada consistió en mover el agregado y el agua unas 6 veces con ayuda de una palana, hasta que el material muy fino se encuentre suspendido en el agua, para luego decantar esta y así proceder a la siguiente lavada.

Se utilizó este modo y cantidad de lavadas ya que con esto se observaba que en la segunda y última lavada presentaba el agua con la mitad de turbidez que en la primera lavada.

f. Agregado Grueso Bien Lavado (AG-BL)

Este agregado fue tamizado por la malla de 1" y se lavó 5 veces cada pie^3 . Las lavadas fueron de la misma manera que se lavó el Agregado Grueso Medio Lavado.

Se utilizó este modo y cantidad de lavadas ya que con esto se observaba en la quinta y última lavada presentaba el agua casi cristalina.



Imagen N° 06: Lavado del agregado grueso en carretillas

3.3. Estudio de las características Físicas de los agregados para el concreto

Los agregados representan en el concreto un componente fundamental ya que de su calidad y características depende la resistencia, trabajabilidad, durabilidad, así como su comportamiento estructural.

El estudio de las características físicas es indispensable para poder realizar el diseño de mezclas del concreto. Así mismo, es necesario estudiar las propiedades físicas de los agregados para poder verificar si cumplen con los límites permisibles fijados en las normas ASTM o NTP, referentes a la clasificación de agregados para el concreto.

3.3.1. Reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo

Las muestras de los agregados deben tener un tamaño apropiado para emplear las técnicas de ensayos, así mismo estas muestras deben ser lo más representativas posibles, por lo que, se utilizó el método del Cuarteo, descrito en la norma ASTM C 702 o NTP 400.043, con el cual se obtuvo los tamaños de muestra para cada ensayo y se minimizó las variaciones de las características entre las muestras.

Se tomó las masas tomando en cuenta el tipo y la cantidad de ensayos a realizarse, así mismo se previno la contaminación y pérdidas de las muestras, transportando y almacenando estas en sacos de plástico en buen estado, para mantener en lo posible las características tal como se obtuvo en la cantera, y después de haber sido lavados.

Procedimiento empleado: Se colocó la muestra en una superficie firme y nivelada, se mezcló completamente el material, mediante volteo de la muestra más de tres veces, formado en el último volteo una pila cónica, se aplanó con la palana a un espesor y diámetro uniforme, se dividió la masa en cuatro cuadrantes iguales con la ayuda de una cuchara metálica y se removió dos cuadrantes diagonalmente opuestos, incluyendo todo material fino. Luego se mezcló y cuarteó el material sobrante hasta reducir la muestra al tamaño deseado.



Imagen N° 07: Reducción de muestras de agregado fino a tamaño de ensayo por el método del cuarteo



Imagen N° 08: Reducción de muestras de agregado grueso a tamaño de ensayo por el método del cuarteo

3.3.2. Granulometría

3.3.2.1. Granulometría del agregado fino

El agregado fino debe tener una granulometría graduada dentro de los límites indicados en las Normas ASTM C33 ó NTP 400.037. La granulometría seleccionada

será preferentemente uniforme y continua, con valores retenidos en las mallas N°4 a N°100 de la Serie Tyler¹³, Se recomienda para el agregado los siguientes límites.

Tabla 3.1

Límites granulométricos para el agregado fino

Malla	Porcentaje que pasa
3/8" (9.50 mm)	100
N°4 (4.75 mm)	95 a 100
N°8 (2.36 mm)	80 a 100
N°16 (1.18 mm)	50 a 85
N°30 (600 micrones)	25 a 60
N°50 (300 micrones)	10 a 30
N°100 (150 micrones)	2 a 10

3.3.2.2. Granulometría del agregado grueso

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". Se optó por tomar el huso N° 56 de la *A.S.T.M.* como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.2

Límites granulométricos para el agregado grueso

N° A.S.T.M	Tamaño Nominal	% Que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25 mm	19 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	
		4"	3.5"	3"	2.5"	2"	1.5"	1"	¾"	½"	3/8"	N°4	N°8	N°16	
5	1" a ½"	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	
56	1" a 3/8"	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	
57	1" a N°4	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	

¹³ La serie Tyler es una de las serie de tamices normalizada más usada en la determinación del tamaño de partículas. Para realizar el análisis por tamizado, los tamices se colocan apilados uno sobre otro, con el tamiz con abertura mayor arriba y progresivamente disminuyendo su tamaño, hasta llegar al tamiz inferior de menor abertura y bajo el cual se coloca un tamiz recipiente llamado colector.

3.3.2.3. Análisis Granulométrico de los agregados

Este método se utilizó para determinar la distribución por tamaño de las partículas de agregado fino y grueso mediante tamizado. Así, una muestra de agregado seco de masa conocida es separada en una serie de tamices colocados progresivamente desde el más pequeño al más grande para determinar su distribución por tamaño, Este análisis por tamices para la determinación de la granulometría de los agregados fino y grueso, se realizó de acuerdo a la norma *ASTM C 136 ó NTP 400.012*. Los cálculos y resultados de estos análisis se presentan en las tablas y gráficos del *Anexo I*.

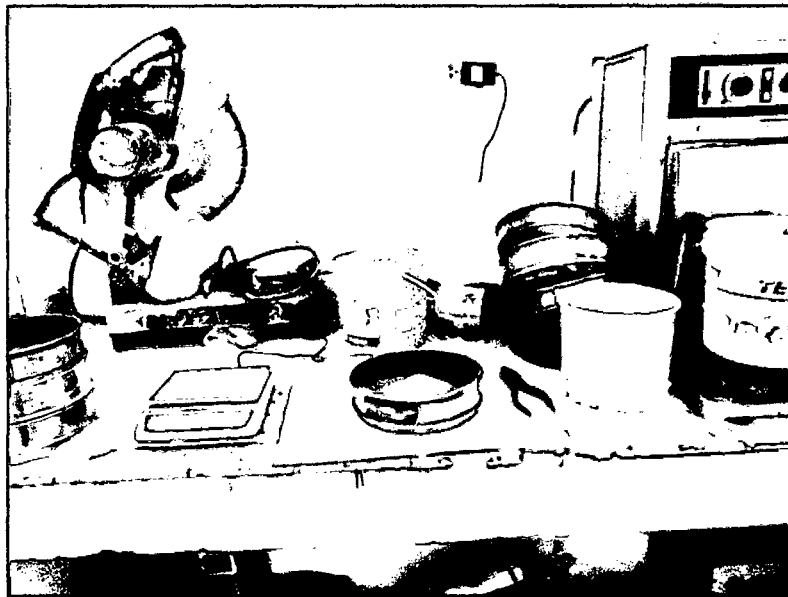


Imagen N° 09: Material y equipos utilizados para el análisis granulométrico.

3.3.3. Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso

El tamaño máximo del agregado grueso se determina a partir de un análisis por tamices y, generalmente, se acepta que es el que corresponde al tamiz inmediatamente superior a aquel en el cual queda 15% ó más de material acumulado retenido.

Granulometrías muy distintas 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.

De acuerdo a la Norma *NTP 400.037* el tamaño máximo nominal del agregado grueso es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa la muestra de agregado grueso.

El tamaño máximo nominal de los tres tipos de agregado grueso fue de 1", como se puede observar en el análisis granulométrico en el *Anexo I, en el ítem ANEXO I.1.*

3.3.4. Módulo de fineza

El módulo de fineza usualmente se determina para el agregado fino, pero el conocimiento del módulo de fineza del agregado grueso puede ser necesario para la aplicación de algunos métodos de proporcionamiento de mezclas.

Los agregados que presentan un módulo de fineza bajo indican una preponderancia de las partículas más finas con un área superficial total muy alta, la que será necesario cubrir con pasta.

El módulo de fineza sirve como una medida del valor lubricante de un agregado, dado que cuanto mayor es su valor menor será el valor lubricante y la demanda de agua por área superficial.

Pudiendo obtenerse con diferentes granulometrías el mismo módulo de fineza, éste no deberá emplearse para definir la granulometría de un agregado.

El módulo de fineza es un índice del mayor o menor grosor del conjunto de partículas de un agregado. Se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas de 3"; 1 1/2"; 3/4"; 3/8"; N° 4; N° 8; N° 16; N° 30; N° 50; y N° 100, divididas entre 100.

Gran número de granulometrías de agregados fino o grueso, o de una combinación de ambos, pueden dar un módulo de fineza determinado. Esta es la principal desventaja del empleo de este factor, el cual se utiliza como un índice de control de uniformidad de materiales.

Los cálculos y resultados de los módulos de fineza de los tres tipos de agregado fino se presentan en el *Anexo I*, en el ítem *ANEXO I.3*.

3.3.5. Peso específico y absorción

Según el Sistema Internacional de Unidades, la expresión correcta es "Densidad", Pero se toma la expresión de "Peso específico" ya que en la *NPT 400.022* se define a éste como: "...*La relación a una temperatura estable, de la masa de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua destilada libre de gas.*"

Otras definiciones que se sugieren en la presente norma son:

Peso específico aparente: es la relación a una temperatura estable, de la masa en el aire, de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas, si el material es un sólido, el volumen es igual a la porción impermeable.

Peso específico de masa: es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material); a la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

Peso específico de masa saturado superficialmente seco: es lo mismo que el peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables.

El peso específico de los agregados es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que para bajos valores generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles.

3.3.5.1. Determinación del peso específico y absorción del agregado fino

En la norma *NPT 400.022* establece el método de ensayo para determinar el peso específico (densidad); peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas en agua del agregado fino;

También establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de absorción (después de 24 horas en el agua).

Podemos definir la absorción, como la cantidad de agua absorbida por el agregado sumergido en el agua durante 24 horas. Se expresa como un porcentaje del peso del material seco, que es capaz de absorber, de modo que se encuentre el material saturado superficialmente seco.

Ensayo de humedad superficial

Consiste en sujetar un molde en forma de cono sobre una superficie no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo; luego se coloca una cantidad de agregado fino que anteriormente fue secado con la secadora.

Compactamos con 8 golpes suaves con el pisón metálico especial que puede penetrar por el diámetro menor de este cono, seguidamente volvemos a colocar una cantidad de este agregado y volvemos a compactar con 8 suaves golpes, finalmente llenamos el cono hasta rebalsar y volvemos a compactar con 9 golpes, despojar el desprendimiento de arena de la base de tal modo que la superficie quede limpia.

Alzar el cono verticalmente: si todavía hay humedad superficial presente el agregado fino retendrá la forma del cono pero si por el contrario la muestra se disgrega levemente o se corta la muestra se encuentra en estado saturado superficialmente seco (SSS)

Ensayo de determinación del peso específico y absorción del agregado fino (Procedimiento gravimétrico)

Procedimiento realizado:

1. Llenar parcialmente el picnómetro con agua, introducir dentro del picnómetro 500 ± 10 gr de la muestra en estado saturado superficialmente seca (SSS), y llenar con agua adicional aproximadamente 90% de su capacidad.
2. Invertir y agitar el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire por unos 15 a 20 minutos.
3. Llenar el picnómetro hasta la marca de calibración.

4. Después eliminar las burbujas, ajustar la temperatura del picnómetro a $\pm 2^\circ\text{C}$.
5. Determinar la masa total del picnómetro, espécimen y agua.
6. Remover el agregado fino del picnómetro, secar a masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ y determinar la masa.
7. Determinar la masa del picnómetro lleno y esta capacidad calibrada con agua a $\pm 2^\circ\text{C}$.

Fórmulas empleadas:

Peso específico de masa:

$$Pe = \frac{W_0}{V - V_a} \dots \dots \dots (3.1)$$

Peso específico de masa saturada SS:

$$P_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \dots \dots \dots (3.2)$$

Peso específico aparente:

$$Pe_a = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \dots \dots \dots (3.3)$$

Porcentaje de absorción:

$$Ab = \left(\frac{500 - W_0}{W_0} \right) * 100 \dots \dots \dots (3.4)$$

Dónde:

W_0 : *Peso en el aire de la muestra seca en la mufa (gr).*

V_a : *Peso en (gr) o volumen en (cm³) del agua añadida al frasco.*

V : *Volumen del frasco en cm³*

Los cálculos y resultados de los pesos específicos y absorción de los tres tipos de agregado fino se presentan en el *Anexo II, en el ítem ANEXO II.1.*

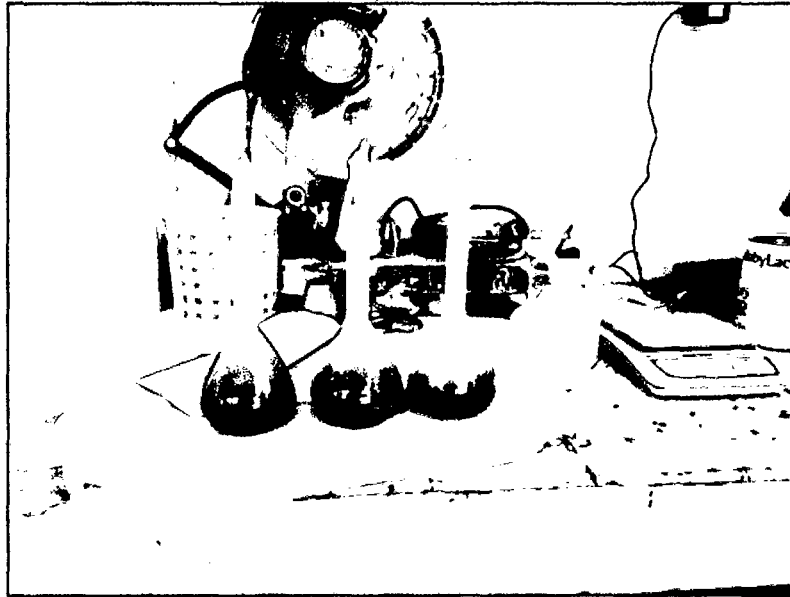


Imagen N° 10: Ensayo de determinación del peso específico y absorción del Agregado fino (Procedimiento gravimétrico)

3.3.5.2. Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso

En la norma *NTP 400.021* establece el método de ensayo para determinar el peso específico (densidad); peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas en agua del agregado grueso; También establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de absorción (después de 24 horas en el agua).

Preparación de la muestra

La muestra a utilizarse tendrá que ser seleccionada de manera correcta. Se debe rechazar todo el material pasante de la malla N° 04 lavando o removiendo todo el polvo u otros recubrimientos de la superficie. Si el material contiene una cantidad significativa de agregado fino pues entonces en vez de usarse la malla 04 se usará la malla N° 08.

Procedimiento realizado:

1. Secar la muestra de ensayo en la mufla una temperatura de 110 °C durante 24 horas. Después del tiempo cumplido retirar y dejar enfriar a temperatura ambiente por un lapso de 1 a 2 horas.

2. Saturar el agregado en agua a una temperatura ambiente por un lapso de 24 horas.
3. Retirar la muestra de agregado grueso del agua, extender una franela en una superficie lisa y horizontal y sobre esta vaciar la muestra hasta que la película visible de agua desaparezca de la superficie de todas las partículas, obteniéndose el estado saturado superficialmente seco (SSS).
4. Determinar la masa de la muestra en el aire en su estado saturado superficialmente seco.
5. Colocar la muestra en la canastilla y determinar la masa aparente de la muestra sumergida en la agua en su estado saturado superficialmente seco. Removiendo las partículas en el agua para que escape el aire atrapado.
6. Secar la muestra de ensayo hasta masa constante a una temperatura de 110°C enfriar y determinar el peso en el aire de la muestra seca al horno (W_o).

Fórmulas empleadas:

Peso específico de masa:

$$Pe = \frac{A}{B - C} \dots \dots \dots (3.5)$$

Peso específico de masa saturada superficialmente seca:

$$Pea = \frac{B}{B - C} \dots \dots \dots (3.6)$$

Peso específico aparente:

$$Pea = \frac{A}{A - C} \dots \dots \dots (3.7)$$

Porcentaje de absorción:

$$Ab = \left(\frac{B - A}{A} \right) * 100 \dots \dots \dots (3.8)$$

Dónde:

A: Peso en el aire de la muestra seca en el horno.

B: Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca.

C: Peso en el agua de la muestra saturada.

Los cálculos y resultados de los pesos específicos y absorción de los tres tipos de agregado grueso se presentan en el *Anexo II, en el ítem ANEXO II.2.*

3.3.6. Contenido de Humedad

En la norma *NTP 400.010* se establece el método de ensayo para determinar el contenido de humedad del agregado fino y grueso.

Los agregados se presentan en los siguientes estados: seco al aire, saturado superficialmente seco y húmedos; en los cálculos para el proporcionamiento de los componentes del concreto, se considera al agregado en condiciones de saturado y superficialmente seco, es decir con todos sus poros abiertos llenos de agua y libre de humedad superficial.

Fórmula empleada:

$$W\% = \left(\frac{P_h - P_s}{P_s} \right) * 100 \dots \dots \dots (3.9)$$

Dónde:

P_h : *Peso húmedo de la muestra.*

P_s : *Peso seco de la muestra*

Los cálculos y resultados de los ensayos de humedad de los tres tipos de agregado fino y grueso se presentan en los cuadros del *Anexo III*



Imagen N° 11: *Muestras utilizadas para el contenido de humedad*

3.3.7. Peso unitario volumétrico

Según Rivva, E. (2004:152,153) se denomina peso volumétrico o peso unitario del agregado, ya sea suelto o compactado, al peso que alcanza un determinado volumen unitario. Generalmente se expresa en kilos por metro cúbico del material.

El peso unitario está influenciado por: su gravedad específica, su granulometría, su perfil y textura superficial, su condición de humedad y su grado de compactación de masa.

El peso unitario varía con el contenido de humedad. En el agregado grueso incrementos en el contenido de humedad incrementan el peso unitario. En el agregado fino incrementos más allá de la condición de saturado superficialmente seco pueden disminuir el peso unitario debido a que la película superficial de agua origina que las partículas estén juntas facilitando la compactación con incremento en el volumen y disminución del peso unitario.

Las granulometrías sin deficiencias o exceso de un tamaño dado generalmente tienen un peso unitario más alto que aquellas en las que hay preponderancia de un tamaño dado en relación a los otros.

Los agregados redondeados de textura suavizada tienen, generalmente, un peso unitario más alto que las partículas de perfil angular y textura rugosa, de la misma composición mineralógica y granulometría.

El peso unitario de los agregados en los concretos de peso normal, entre 2200 y 2400 kg/m³, generalmente varía entre 1500 y 1700 kg/m³.

3.3.7.1. Ensayo para la determinación del peso unitario volumétrico compactado

Es el peso que tendría el aglomerante al ocupar un recipiente de volumen conocido en estado compactado. Este peso considera los vacíos entre las partículas del material.

Procedimiento realizado:

- 1) Secar una cantidad de agregado grueso que abarque en su totalidad un determinado recipiente, en la mufla durante 24 horas a una temperatura promedio de 110 °C.
- 2) Luego de haber sacado la muestra de la mufla por haber cumplido el tiempo requerido, se llena con esta muestra hasta 1/3 de su capacidad y se compacta con una varilla con 25 golpes.
- 3) Se continúa llenando hasta la 2/3 de su capacidad y se compacta esta segunda capa con 25 golpes de varilla, sin penetrar en la capa previa ya compactada.
- 4) Finalmente, se vuelve a llenar el recipiente hasta que desborde y se compacta con 25 golpes de la varilla, sin penetrar en la capa previa ya compactada.
- 5) Se nivela la capa superficial del agregado en forma manual utilizando la varilla, de manera de enrasarla con el borde superior del recipiente.
- 6) Se determina la masa del recipiente más su contenido de agregado grueso y se registra este valor.
- 7) Determinación del volumen real del recipiente: Debido a la irregularidad de la superficie interior del recipiente para obtener su volumen, lo hacemos determinando el volumen de agua en el recipiente; se llena el recipiente con una cantidad de agua que se encuentre aproximadamente a 16 °C y pesamos el recipiente con el agua; por lo que consideraremos un valor de 999.03 para el Peso específico del Agua a 16 °C.

Fórmulas empleadas:

Determinación del volumen real del recipiente:

$$\text{Vol recipiente} = \frac{\text{Peso de H}_2\text{O en el recipiente}}{\text{P específico H}_2\text{O a 16 °C}} \dots \dots \dots (3.10)$$

Determinación del P.U.V. compactado y suelto:

$$P.U.V \text{ compactado} = \frac{\text{peso de la muestra compactada}}{\text{Vol. recipiente}} \dots \dots \dots (3.11)$$

Los cálculos y resultados de los ensayos de peso unitario compactado de los tres tipos de agregado grueso se presentan en los cuadros del *Anexo IV, ítem ANEXO IV.1.*

3.3.7.2. Ensayo para la determinación del peso unitario volumétrico suelto

Es el peso que tendría el aglomerante al ocupar un recipiente de volumen conocido en estado suelto. Este peso considera los vacíos entre las partículas del material.

Procedimiento Realizado:

- 1) Secar una cantidad de agregado que abarque en su totalidad un determinado recipiente, en la mufla durante 24 horas a una temperatura promedio de 110 °C.
- 2) Luego de haber sacado la muestra de la mufla por haber cumplido el tiempo requerido, se llena el recipiente con una pala dejándolo caer desde una altura aproximada de 5 cm de la parte superior.
- 3) Una vez lleno el recipiente, Se nivela la capa superficial del agregado en forma manual utilizando la varilla, de manera de enrasarla con el borde superior del recipiente.
- 4) Se determina la masa del recipiente más su contenido de agregado y se registra este valor.
- 5) Determinación del volumen real del recipiente: Debido la irregularidad de la superficie interior del recipiente para obtener su volumen, lo hacemos determinando el volumen de agua en el recipiente; se llena el recipiente con una cantidad de agua que se encuentre aproximadamente a 16 °C y pesamos el recipiente con el agua; por lo que consideraremos un valor de 999.03 para el Peso específico del Agua a 16 °C.

Fórmulas empleadas:

Determinación del volumen real del recipiente:

$$\text{Vol recipiente} = \frac{\text{Peso de H}_2\text{O en el recipiente}}{\text{P específico H}_2\text{O a 16 }^\circ\text{C}} \dots \dots \dots (3.12)$$

Determinación del P.U.V. compactado y suelto:

$$\text{P. U. V compactado} = \frac{\text{peso de la muestra suelta}}{\text{Vol. recipiente}} \dots \dots \dots (3.13)$$

Los cálculos y resultados de los ensayos de peso unitario compactado de los tres tipos de agregado fino y grueso se presentan en el *Anexo IV, ítems ANEXO IV.2. y ANEXO IV.3.*

3.3.8. Ensayo para determinar la cantidad de material que pasa la malla N° 200 (MMF)

En la norma *NTP 400.018 o ASTM C117*, se establecen los procedimientos para determinar por vía húmeda el contenido de material que pasa el tamiz N°200 en el agregado.

Procedimiento realizado:

El procedimiento de ensayo consiste en lavar una muestra de agregado y pasar el agua de lavado a través del tamiz N° 200. La pérdida de masa resultante del lavado se calcula como un porcentaje de la masa de la muestra original y es expresada como la cantidad de material que pasa la malla N° 200.

Los cálculos y resultados de los ensayos de material que pasa la malla N° 200 de los tres tipos de agregado fino y grueso se presentan en los cuadros del *Anexo V.*



Imagen N° 12: Ensayo para la determinación de la cantidad de material que pasa por la malla 200 por lavado.

3.3.9. Desgaste o Abrasión

En la mayoría de las normas sobre agregados a nivel internacional se establecen pruebas de desgaste o abrasión, siendo la más generalizada el denominado Ensayo de Los Ángeles, el cual fundamentalmente consiste en colocar una muestra de agregado con granulometría especificada en un cilindro rotatorio horizontal, conjuntamente con un número de bolas de acero, aplicando al tambor un número dado de vueltas. El porcentaje de material fragmentado constituye un indicador de calidad.

El Ensayo de Los Ángeles está normalizado por el ASTM, existiendo dos métodos de ensayo que corresponden a agregados gruesos mayores de 3/4", que comprenden tamaños hasta de 3"; y para agregados menores de 1 1/2". El ASTM clasifica a estas Normas como C 535 y C 131.

El agregado que va a ser empleado en concretos para pavimentos, pisos o estructuras sometidas a abrasión y/o erosión no deberá tener una pérdida mayor del 50% en el ensayo de abrasión realizado de acuerdo a las Normas ASTM indicadas o a las Normas NTP 400.019 ó 400.020

3.3.9.1. Ensayo para determinar la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaño pequeño, por medio de la Máquina de los Ángeles.

Procedimiento:

- Secar la muestra en un horno hasta obtener un peso constante
- La muestra debe cumplir una de las siguientes gradaciones:

Tabla 3.3
Pesos de muestra según gradaciones

Tamices		Peso de los tamaños indicados (gr.)			
Pasa	Retiene en	A	B	C	D
1 ½"	1"	1250 ± 25	-	-	-
1"	¾"	1250 ± 25	-	-	-
¾"	½"	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
½"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
3/8"	¼"	-	-	2500 ± 10	-
¼"	N°4	-	-	2500 ± 10	-
N°4	N°8	-	-	-	5000 ± 10
Total:		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

- Anotar el peso de la muestra antes del ensayo
- Colocar la muestra y la carga abrasiva en la máquina de los Ángeles y rotarla a una velocidad de 30 r.p.m. a 33 r.p.m. durante 500 revoluciones.
- Realizar la separación preliminar en un tamiz mayor que el N° 12.
- Tamizar la Proción más fina en el tamiz N°12
- Lavar el material más grueso que el tamiz N°12, secarlo y pesarlo.

Fórmula empleada:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{(Peso_{Original} - Peso_{final}) \times 100}{Peso_{Original}} \dots \dots \dots (3.14)$$

3.3.9.2. Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaño pequeño, por medio de la Máquina de los Ángeles.

Se determinó que el agregado grueso tubo un porcentaje de desgaste de 27.16%, que cumpliría con lo indicado en la norma, para este cálculo se utilizó la fórmula 3.14 donde el $Peso_{Original}$ fue de 5002.4 gr y el $Peso_{final}$ fue de 3643.7 gr.



Imagen N° 13: Ensayo de Abrasión del Agregado grueso en la Máquina de los Angeles.

3.4. El cemento utilizado.

El cemento que se empleó para elaborar los tratamientos de concreto de estudio fue Cemento portland tipo I de Cementos Pacasmayo S.A.A. destinado para uso general en la construcción, para emplearse en obras que no requieran propiedades especiales. Que cumple con los requisitos de las normas técnicas *NTP 334.009* y *ASTM C 150*.

Una de sus propiedades principales es que presenta Mayor resistencia inicial debido a su óptima formulación. El cemento Tipo I desarrolla mayor resistencia a edades tempranas y menores tiempos de fraguado.

Sus aplicaciones son de uso tradicional en la construcción, para emplearse en obras que no requieran propiedades especiales de ningún tipo: Obras de concreto y de concreto armado en general, para estructuras que requieren rápido desencofrado, concreto en clima frío, prefabricados, pavimentos y cimentaciones.

En el *Anexo VI* se presenta la ficha técnica del Cemento portland tipo I de Cementos Pacasmayo S.A.A.

3.5. El Agua potable de La Ciudad Universitaria de la UNC.

El agua empleada en la preparación y curado de los especímenes cilíndricos de concreto, fue el agua potable del campus de la UNC, siendo esta también el agua potable de la ciudad de Cajamarca, por lo cual debería cumplir con los límites máximos y mínimos permisibles según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano según el *DS N° 031-2010-SA*; por lo cual al mismo tiempo cumplirían los requisitos de calidad para la elaboración y curado del concreto indicado en la Norma *NTP 339.088*. Que se explica en el ítem 3.2.1.

3.6. Procedimiento de diseño de mezclas

3.6.1. Requerimientos del concreto considerados para el diseño de mezclas

Las características del concreto han de ser función del fin para el cual está destinado. Por ello la selección de las proporciones de la unidad cubica de concreto debe permitir obtener un concreto con la facilidad de colocación, densidad, resistencia, durabilidad u otras propiedades que se consideran necesarias para el caso particular para el cual la mezcla está siendo diseñada. [*Rivva, E. 2010:26*]

Para la elaboración del diseño de mezclas para los especímenes cilíndricos de concreto se consideró tener los siguientes requerimientos en el estado endurecido y no endurecido:

3.6.1.1. La trabajabilidad requerida

Para la elaboración y ajuste de proporciones de los especímenes cilíndricos de concreto, se consideró que el concreto no endurecido, presente una trabajabilidad óptima, evitando tener un perfil sobre gravoso o sobre arenoso.

3.6.1.2. La consistencia requerida

Para el diseño de mezclas y ajuste de proporciones de los especímenes cilíndricos de concreto, se consideró que el concreto no endurecido, cumpla con una consistencia plástica (asentamiento de 3"-4")

3.6.1.3. La resistencia requerida

Para el diseño de mezclas y ajuste de proporciones de los especímenes cilíndricos de concreto, se consideró un $f'c$ de 210 Kg/cm², ya que este $f'c$ es más comúnmente utilizado en especificaciones de obra para elementos estructurales, así como también para losas de pavimentos.

3.6.2. Propiedades de los materiales a considerar para el diseño de mezclas

3.6.2.1. Propiedades del Cemento:

- **Marca y Tipo:** CEMENTOS PACASMAYO S.A.A. - Cemento portland Tipo I
- El cemento portland Tipo I es un cemento de uso general que cumple con los requisitos de las normas técnicas *NTP 334.009* y *ASTM C 150*.
- **Peso específico:** 3.1 gr/cm³

3.6.2.2. Propiedades del Agregado Fino

El agregado fino cumplió con los límites establecidos en la *Norma NTP 400.037*.

De los tres tratamientos del Agregado fino: Agregado Fino Sin Lavado (AF-SL), Medio Lavado (AF-ML), Bien Lavado (AF-BL); se consideró tomar como promedio los valores de las propiedades de los materiales que serían considerados para realizar el diseño de mezclas, excepto en la Absorción, ya que además de

considerar a ésta como una propiedad relacionada con la cantidad de material que pasa la malla N°200 (MMF), presentó un mayor porcentaje de absorción, mientras más cantidad de MMF tendría el tipo de Agregado Fino.

Por lo que las propiedades del Agregado fino a considerar para el diseño de mezclas serían:

- Peso específico SSS (Promedio AF-SL, AF-ML, AF-BL): 2.63 gr/cm³
- Humedad natural (Promedio AF-SL, AF-ML, AF-BL): 3.17%
- Absorción AF-SL: 2.94%
- Absorción AF-ML: 2.4%
- Absorción AF-BL: 2.12%
- Módulo de fineza (Promedio AF-SL, AF-ML, AF-BL): 2.794

3.6.2.3. Propiedades del Agregado Grueso

El agregado grueso cumplió con los límites establecidos en la *Norma NTP 400.037*

De los tres tratamientos del Agregado Grueso: Agregado Grueso Sin Lavado (AG-SL), Medio Lavado (AG-ML), Bien Lavado (AG-BL); se consideró tomar como promedio los valores de las propiedades de los materiales que serían considerados para realizar el diseño de mezclas, a diferencia de que en las propiedades del agregado fino no se consideró el promedio de la absorción, en las propiedades del agregado grueso si se toma el promedio de esta, ya que no presentó en los valores de absorción una relación con la cantidad de MMF. Esto se puede ocurrir debido a que el porcentaje de MMF en el agregado fino es considerablemente mayor al porcentaje de MMF en el agregado grueso; Podemos agregar también que el método visto en el ítem 3.3.5.2 para determinar la Absorción del agregado grueso, existieron procedimientos que intervienen en la pérdida de MMF en las muestras de agregado grueso como es el mantener húmeda la muestra por 24 horas y luego secarla superficialmente con franelas, lo que habría ocasionado la pérdida de MMF de la muestra.

Por lo que las propiedades del Agregado Grueso a considerar para el diseño de mezclas serían:

- Peso específico SSS (Promedio AG-SL, AG-ML, AG-BL): 2.68 gr/cm³
- Peso unitario compactado (Promedio AG-SL, AG-ML, AG-BL): 1644 Kg/m³
- Humedad natural (Promedio AG-SL, AG-ML, AG-BL): 0.69%
- Absorción (Promedio AG-SL, AG-ML, AG-BL): 2.2%
- TMN del agregado grueso (AG-SL, AG-ML, AG-BL): 1"

3.6.3. Procedimiento realizado para la selección de las proporciones del concreto por el método ACI del comité 211

Según *Rivva, E. (2013:87)* el comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple el cual, basándose en tablas que se presentarán en los siguientes pasos de este método, las cantidades de materiales por metro cúbico de concreto, se determinarán por el Método del Comité 211 del ACI siguiendo la secuencia que se indica a continuación:

1. Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia a compresión especificada.
2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado.
3. Selección del asentamiento.
4. Selección de volumen unitario del agua de diseño.
5. Selección del contenido de aire.
6. Selección de la relación agua/cemento por resistencia.
7. Determinación del Factor cemento.
8. Determinación del contenido de agregado grueso.
9. Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso.
10. Determinación del volumen absoluto de agregado fino.
11. Determinación del peso seco del agregado fino.
12. Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso.
13. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.

Los cálculos y resultados del diseño de mezclas se presentan en el *Anexo VII*, en el ítem *A.VII.1*.

3.6.3.1. Elaboración de mezcla de prueba

Como en lo visto en los ítems *A.VII.1.12.1*, *A.VII.1.12.2*, *A.VII.1.12.3*, en el Anexo VII, se calculó para cada tipo de agregado los nuevos pesos de los materiales por metro cúbico de concreto, ya corregidos por humedad del agregado; presentando en estos tres diseños de mezclas solo una variación mínima en la cantidad de agua efectiva, por lo que se optó por promediar la cantidad de Agua efectiva, para así también poder tener una dosificación de materiales similar en los tres tratamientos de concreto.

Por lo cual, los nuevos pesos de los materiales por metro cúbico de concreto, ya corregidos por humedad del agregado, considerados para los tres tipos de agregados, a ser empleados en las mezclas de prueba son:

Cemento: 316.40 Kg/m³
Agua efectiva: 204.64 Lts/m³
Agregado Fino Húmedo: 755.70 Kg/m³
Agregado Grueso Húmedo: 1110.70 Kg/m³

Con los nuevos pesos de los materiales corregidos, se procedió a determinar la cantidad de material a ser empleado para realizar la mezcla de prueba, por lo que se consideró tomar como volumen de mezcla la cantidad de 03 especímenes cilíndricos de concreto. Considerando que el volumen de un espécimen es aproximadamente 0.00667 m³, los pesos de materiales para cada espécimen serían:

Cemento: 2.11 Kg
Agua efectiva: 1.36 Lts
Agregado Fino Húmedo: 5.04 Kg
Agregado Grueso Húmedo: ,7.41 Kg

3.6.4. Procedimiento realizado para el ajuste de las proporciones [Rivva, E. 2010:155,156]

Verificadas y obtenidas las condiciones anteriores, deberá realizarse en las siguientes tandas, los ajustes apropiados en las proporciones, de acuerdo al siguiente procedimiento:

1. La cantidad de agua de mezclado estimada para obtener el mismo asentamiento que las tandas de prueba, deberá ser igual al volumen neto del agua de mezclado empleado dividido entre el rendimiento de la mezcla de ensayo expresado en metros cúbicos.
Si el asentamiento de la tanda de ensayo no fue correcto, incrementar o disminuir el contenido de agua estimada en 2 litros por metro cúbico de concreto por cada incremento o disminución de 10 mm en el asentamiento deseado.
2. Para ajustar la mezcla a fin de compensar los efectos de un contenido de aire incorrecto en una mezcla de prueba con aire incorporado, reducir o incrementar el contenido de agua de mezclado en 3 litros por metro cúbico por cada 1% en el cual, el contenido de aire se incrementa o disminuye en relación con el de la mezcla de ensayo.
3. Si la base del proporcionamiento de los materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto ha sido el peso estimado por metro cúbico del concreto fresco, el peso unitario recalculado del concreto fresco a ser empleado para efectuar el ajuste de las mezclas de prueba será igual al peso unitario medido en la tanda de ensayo, reducido o incrementado por el porcentaje de incremento o disminución en el contenido de aire de la tanda ajustada de la primera mezcla de prueba.
4. Calcular el nuevo peso de la tanda partiendo de la selección de la relación agua/cemento, modificando si fuere necesario el volumen de agregado grueso a partir de la *Tabla A. VII.1.8.1.*

3.6.5. Dosificación de materiales para la elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto.

Con los nuevos pesos de los materiales corregidos por ajuste de proporciones, como se determinó en el ítem A.VII.2.10. Se procedió a determinar la cantidad de material a ser empleado para realizar las tandas para la elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto; Considerando que el volumen de un espécimen es aproximadamente 0.00667 m^3 , los pesos de materiales por cada espécimen serían:

$$\text{Cemento: } \dots \dots \dots 285.85 \times 0.00667 = 1.91 \text{ Kg/tanda}$$

$$\text{Agua efectiva: } \dots \dots \dots 183.16 \times 0.00667 = 1.22 \text{ Lts/tanda}$$

$$\text{Agregado Fino Húmedo: } \dots \dots \dots 941.54 \times 0.00667 = 6.28 \text{ Kg/tanda}$$

$$\text{Agregado Grueso Húmedo: } \dots \dots \dots 999.83 \times 0.00667 = 6.67 \text{ Kg/tanda}$$

Esta dosificación de materiales haría una proporción en peso de **1:3.29:3.50/27.23 lts/bolsa** como se calculó en el Anexo VII.

3.7. Tratamientos de estudio de la investigación

3.7.1. Tratamiento 1: Concreto con Agregado Global Sin Lavado o C-SL (2.21% MMF)

Fue la elaboración de concreto con materiales de cemento, agua, Agregado Fino Sin Lavado (AF-SL) y Agregado Grueso Sin Lavado (AG-SL), dosificados con las proporciones que se determinaron en el ítem A.VII.2.10. Esta dosificación cuenta con un Agregado Global con un 2.21% de MMF, el cual se determinó en el ítem de Anexos VIII: A.VIII.1

3.7.2. Tratamiento 2: Concreto con Agregado Global Medio Lavado o C-ML (1.24% MMF)

Fue la elaboración de concreto con materiales de cemento, agua, Agregado Fino Medio Lavado (AF-SL), Agregado Grueso Medio Lavado (AG-SL), dosificados con las proporciones que se determinaron en el ítem A.VII.2.10. Esta dosificación cuenta con un Agregado Global con un 1.24% de MMF, el cual se determinó en el ítem de Anexos VIII: A.VIII.2

3.7.3. Tratamiento 3: Concreto con Agregado Global Bien Lavado o C-BL(0.23% MMF)

Fue la elaboración de concreto con materiales de cemento, agua, Agregado Fino Bien Lavado (AF-SL), Agregado Grueso Bien Lavado (AG-SL), dosificados con las proporciones que se determinaron en el ítem A.VII.2.10. Esta dosificación cuenta con un Agregado Global con un 0.23% de MMF, el cual se determinó en el ítem de Anexos VIII: A.VIII.3

3.8. Unidades de estudio

Con cada uno de los tres tratamientos vistos en los tres ítems anteriores, se elaboraron 21 especímenes cilíndricos de concreto (unidades de estudio), de los cuales cada 7 especímenes serían ensayados a resistencia a compresión a la edad de 7, 14 y 28 días; por lo cual se tendrían 7 repeticiones para cada caso. Se consideró esta cantidad de repeticiones ya que la Norma ACI 214 establece que al trabajar con un promedio de 7 o más pruebas consecutivas de resistencia a compresión no es necesario disminuir una cantidad de Kg/cm² por seguridad, para estándares de control de concreto para uso en general.

3.8.1. Elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto para pruebas de compresión (unidades de estudio)

La elaboración de los 21 especímenes cilíndricos de concreto para pruebas de compresión (150 mm por 300 mm), con cada uno de los tres tratamientos descritos en el ítem 3.7, se realizaron siguiendo los procedimientos indicados en la Norma ASTM C 31

Equipo y Herramientas Utilizadas:

- a. **Moldes:** Deben ser de un material no absorbente y que no reaccione con el cemento, se utilizó moldes de fabricados de tubos de PVC de 150 mm de diámetro, se fijó y aseguro estos con alambres de acero negro N°8, para evitar que se deformen, así mismo se selló la junta con cinta adhesiva y se cubrió las bases de los moldes con bolsas de plástico para evitar la pérdida de la mezcla o humedad; Los moldes también fueron cubiertos interiormente con una mínima

- cantidad de aceite de cocina mineral, para facilitar el desencofrado de los especímenes de concreto.
- b. **Varilla:** De acero, redonda con un diámetro de 16 mm, recta y aproximadamente de 600 mm de longitud, con los extremos redondeados de forma semiesférica.
 - c. **Mazo:** Con cabeza de hule de peso aproximado a 0.6 Kg.
 - d. **Herramientas de mano:** Palas, Baldes, espátulas y alisadores de metal para la superficie del concreto, cucharones y reglas.
 - e. **Balanza Electrónica:** La balanza que se utilizó para pesar las cantidades de materiales para las tandas, fue una balanza electrónica de una precisión de 5gr y de un pesado máximo de 30 kg.
 - f. **Mezcladora:** Fue un trompo mezclador eléctrico de 6 pies cúbicos de capacidad.

Procedimiento realizado para la elaboración de las mezclas de concreto

Se consideró por la capacidad de la mezcladora, realizar tandas de mezcla de concreto para volúmenes de 4 especímenes cilíndricos de concreto (150 mm por 300 mm).

Primeramente para elaborar las mezclas, se limpió y seco el interior de la mezcladora para que así no aporte agua adicional a la mezcla o algún otro material que no se haya previsto para la elaboración de esta; así mismo se procedió a pesar las dosificaciones de cemento, agregado fino, agregado grueso y a medir el volumen del agua.

No existe una norma que defina el procedimiento para cargar la mezcladora con los materiales; por lo que se optó por agregar inicialmente el agregado fino, luego se agregó el cemento y se comenzó a mezclar estos materiales, hasta obtener una mezcla de color uniforme del agregado fino y el cemento, luego se agregó el agregado grueso, cuando la mezcla de estos tres materiales se encontró uniforme se procedió a adicionar el volumen de agua de mezcla, se continuó mezclando hasta que la mezcla presente homogeneidad, que tenga una consistencia y color uniforme, presentando el agregado grueso totalmente cubierto por la pasta. Así mismo, se controló que el tiempo de mezclado después de haber sido adicionada el volumen

de agua a la mezcla no se extienda más de un minuto tal como lo recomienda las *Normas ASTM*.

Pasos realizados para la elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto:

- a. Se colocó los moldes en una superficie horizontal, rígida, nivelada y libre de vibraciones.
- b. La colocación de la mezcla de concreto en el interior del molde se realizó moviendo el cucharón alrededor del molde para asegurar la distribución del concreto y una segregación mínima que se presenta al golpearse la mezcla al caer.
- c. El llenado del molde se realizó en tres capas de igual volumen, en la última capa se agregó una cantidad de mezcla suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación.
- d. La compactación se realizó en cada capa con 25 penetraciones de la varilla, distribuyendo las penetraciones de forma uniforme. La compactación de la primera capa fue en todo su espesor, y la segunda y tercera capa penetrando 25 mm en la capa anterior.
- e. Después de compactar cada capa, se golpeó los lados del molde ligeramente por 15 veces con el mazo de goma para liberar las burbujas que pueden quedar atrapadas.
- f. Se enrasó el exceso de mezcla con la varilla de compactación y se dio un acabado con una espátula, procurando dar el menor número de pasadas para producir una superficie lisa y plana.
- g. Se identificó los especímenes con el número de espécimen, fecha, hora y tipo de tratamiento.
- h. Se colocó bolsas plásticas sobre los moldes para evitar la pérdida de humedad y tratar de mantener la temperatura.
- i. Transcurridas 24 ± 8 horas después de elaborar los especímenes, estos fueron sacados de los moldes y se procedió a realizar el curado estándar.



Imagen 14: Elaboración de una tanda de concreto para los especímenes



Imagen 15: Elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto

3.8.2. Curado de los especímenes cilíndricos de concreto.

Se define como tiempo de curado al período durante el cual el concreto es mantenido en condiciones de humedad y temperatura tales como para lograr la hidratación del cemento en la magnitud que se desea para alcanzar la resistencia seleccionada. [Rivva, E. 2004:12]

El curado de los 63 especímenes cilíndricos se realizó siguiendo los procedimientos indicados en la *Norma ASTM C 31*. Así el curado de especímenes para control de calidad comprendió los siguientes pasos:

- a. **Protección después del acabado:** Inmediatamente después de elaborar el moldeado de los especímenes, se cubrieron estos con bolsas de plástico para evitar la evaporación y pérdida de humedad de estos
- b. **Curado inicial:** Después del moldeado, se cubrió a los especímenes con mantas de plástico para mantener la temperatura alrededor de estos en un rango de 16°C a 27°C, como lo indica la *Norma ASTM C 31* para mezclas de concreto con una resistencia especificada menor a 422 Kg/cm². Transcurridas 24 ± 8 horas después de elaborar los especímenes, estos fueron sacados de los moldes y se procedió a realizar el curado estándar.
- c. **Curado estándar:** Al terminar el curado inicial y antes que transcurran 30 minutos después de haber sacado los especímenes de los moldes, estos se almacenaron en un estanque cilíndrico de concreto armado, cubiertos con agua, además se saturó el agua con cal viva para mantener la temperatura de está cerca de 21°C.



Imagen 16: Curado de concreto con control de temperatura de agua de curado

3.9. Las Variables de evaluación de estudio.

Las variables de evaluación de este estudio que se determinaron en la elaboración de los tratamientos, y en las propiedades de los especímenes cilíndricos fueron:

1. Asentamiento en el concreto en estado no endurecido.
2. Peso unitario de los especímenes cilíndricos de concreto.
3. Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días.
4. Desarrollo de la resistencia del concreto.
5. Uniformidad del concreto.
6. Módulo de elasticidad del Concreto.
7. Costo de la elaboración de concreto por m³.

3.9.1. El Asentamiento en el concreto en estado no endurecido.

El método que cubre la determinación del asentamiento del concreto fresco consiste en colocar una muestra de concreto recién mezclado (se compacta por varillado) dentro de un molde en forma de cono truncado, el molde se levanta permitiendo que el concreto se desplome, se mide la distancia vertical al dentro desplazado, siendo esta distancia el asentamiento del concreto.

Según la *Norma ASCTM C 143*, este método fue originalmente desarrollado para proporcionar un modo de monitoreo o control de la consistencia del concreto no endurecido. Bajo condiciones de laboratorio con estricto control de todos los materiales del concreto, el asentamiento es generalmente encontrado debido al incremento proporcional de agua que tiene la mezcla y por lo tanto está inversamente relacionado con la resistencia del concreto. Este ensayo se realizó siguiendo las recomendaciones descritas en la *Norma ASCTM C 143*.

Equipo y Herramientas Utilizadas:

- a. **Molde:** Se utilizó un molde metálico, que no presenta reacción con la pasta de cemento, con un espesor no menor a 1.5 mm, con la forma de la superficie lateral de un cono truncado con una base de 200 mm de diámetro y la parte superior de 100 mm de diámetro con una altura de 300mm.

- b. **Varilla:** De acero, redonda con un diámetro de 16 mm, recta y aproximadamente de 600 mm de longitud, con los extremos redondeados de forma semiesférica.
- c. **Instrumento de medida:** Se utilizó reglas de plástico y de metal.

Procedimiento realizado:

1. Se humedeció el molde y la plancha de acero base, y se colocó el molde sobre la plancha de acero en una superficie rígida y nivelada.
2. Se apoyó el molde firmemente sobre la plancha y presionando con los dos pies los estribos del molde. Procurando no mover los pies durante el llenado del molde.
3. El llenado del molde se realizó en tres capas de igual volumen, la primera capa a una profundidad de 70 mm, la segunda hasta de 160 mm y la tercera hasta el borde superior del molde en esta última capa se agregó una cantidad de mezcla suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación.
4. La compactación se realizó en cada capa con 25 penetraciones de la varilla, distribuyendo las penetraciones de forma uniforme. La compactación de la primera capa fue en todo su espesor, y la segunda y tercera capa penetrando 25 mm en la capa anterior. Al compactar la última capa se mantuvo un excedente de concreto todo el tiempo.
5. Se enrasó el concreto rodando la varilla de compactación sobre el borde del molde.
6. Se continuó manteniendo el molde firme y se removió el concreto alrededor del área circundante de la base del molde para prevenir la interferencia en el momento del asentamiento del concreto.
7. Se levantó el molde por encima de los 300 mm de un solo movimiento, en un solo tiempo de aproximadamente 5 segundos.
8. Luego se midió el asentamiento con una precisión de 5 mm desde la parte superior del molde hasta el centro desplazado de la superficie original del espécimen.

3.9.1.1. El asentamiento en los tipos de tratamientos.

Se consideró determinar el asentamiento de tres tandas de mezclas de cada tipo de tratamiento que se realizaron para elaborar los 21 especímenes cilíndricos de concreto (unidades e estudio) de cada tratamiento. Los resultados obtenidos de asentamiento y análisis de estos se presentan en el *ítem 4.1. Así mismo*, su análisis estadístico se presenta en el *ítem 4.6.1.*

3.9.2. El peso unitario de los especímenes cilíndricos de concreto.

Dimensiones y peso de los especímenes: Se midió tres diámetros con el calibrador vernier, 2 medidas en forma recta y la tercera en forma diagonal, con una aproximación a 0.1 mm; así mismo, se midió la altura con aproximación de 1 mm, con estas medidas se calculó el volumen de los especímenes cilíndricos. También se pesó los especímenes antes de ser ensayados a resistencia a compresión con una precisión de 5 gr.

3.9.2.1. El peso unitario de los especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 28 días.

Se calculó el peso unitario dividiendo el peso entre el volumen determinado de los 7 especímenes cilíndricos elaborados con cada tratamiento que se ensayaron a la edad de 28 días. Los resultados obtenidos de peso unitario y análisis de estos se presentan en el *ítem 4.2. Así mismo*, su análisis estadístico se presenta en el *ítem 4.6.2.*

3.9.3. La resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto.

La resistencia a compresión del espécimen se calculó dividiendo la máxima carga obtenida durante el ensayo entre el área de la cara axial del espécimen. Los resultados a la compresión obtenidos pueden depender de la forma y tamaño del espécimen, la pasta de cemento, los procedimientos de mezcla, la elaboración, la edad y las condiciones de humedad durante el curado.

La determinación de la resistencia a compresión de los 63 especímenes de concreto elaborados, se obtuvieron mediante las consideraciones para este ensayo de resistencia a compresión que se describen en La *Norma ASTM C 39*.

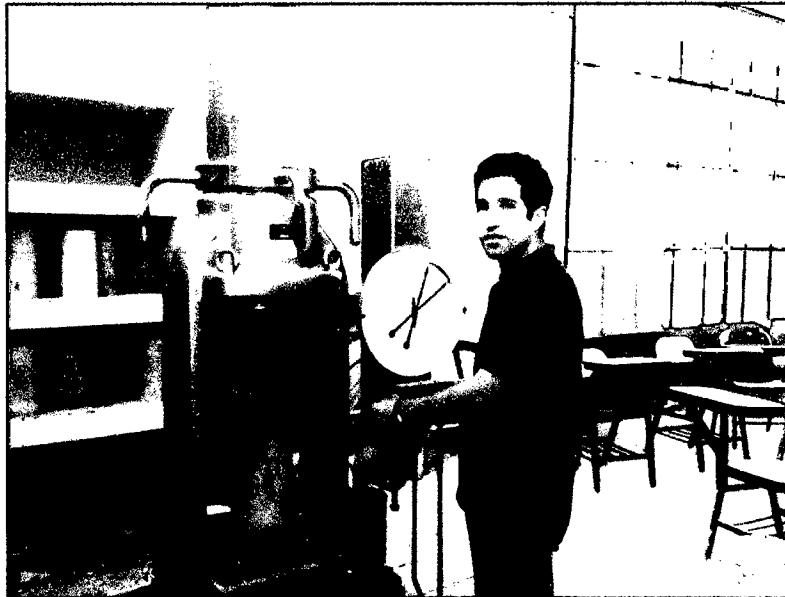


Imagen 17: Ensayo de resistencia a la compresión de un espécimen cilíndrico de concreto.

Equipo y Herramientas Utilizadas:

- a. **Máquina de ensayo:** se usó una máquina de compresión hidráulica con alimentación de energía eléctrica, teniendo la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. Así mismo se pudo operar con energía constante, siendo capaz de aplicar cargas continuas durante todo los procesos de ensayos.
- b. **Platos retenedores con discos de neopreno:** Se utilizó platos retenedores que son fabricados en acero colado cuya superficie es plana en 0.002 pulgadas, que contienen discos de neopreno para colocarlos en las caras de los especímenes para que estas se presenten niveladas y paralelas.
- c. **Calibrador vernier:** Instrumento mecánico que se utilizó para medir las dimensiones de las probetas con una precisión de hasta 0.5 mm
- d. **Balanza Electrónica:** La balanza que se utilizó para pesar los especímenes cilíndricos de concreto antes de ser ensayados a resistencia a compresión, fue una balanza electrónica de una precisión de 5 gr y de un pesado máximo de 30 kg.

Procedimiento realizado:

- 1. Tolerancia permisible de tiempo de ensayo:** Se empezó el ensayo tan pronto como el espécimen fue retirado de la cámara de curado y conservar así sus condiciones de humedad, respetando la *Tabla 3.4* adoptada de la *Norma ASTM C 39*.

Tabla 3.4
Tolerancia permisible de tiempo de ensayo según la edad de los especímenes

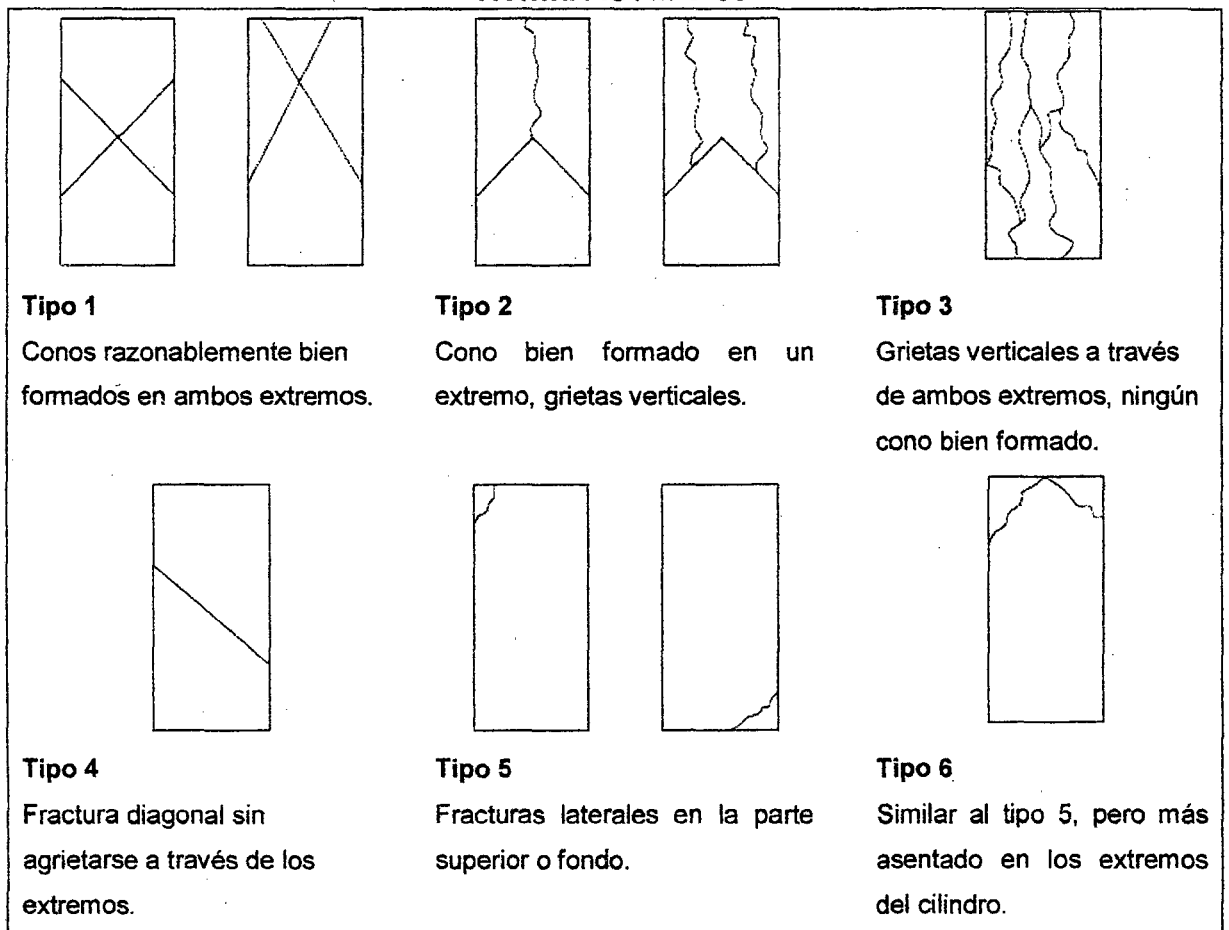
Edad	Tolerancia permisible de tiempo de ensayo
24 horas	± 0.5 horas ó 2.1%
3 días	2 horas ó 2.8%
7 días	6 horas ó 3.6%
28 días	20 horas ó 3.0%
90 días	2 días ó 2.2%

- 2. Dimensiones los especímenes:** Se midió tres diámetros con el calibrador vernier, 2 medidas en forma recta y la tercera en forma diagonal, con una aproximación a 0.1 mm.
- 3. Colocación de los especímenes en la máquina compresora:** Se limpió la superficie de los soportes inferiores y superiores de la compresora, se colocó el espécimen con los platos contenedores con neopreno en ambas caras de éste, alineando los ejes del espécimen con el centro del bloque de empuje inferior y el bloque movable superior, se descendió el bloque movable superior lentamente hasta poner en contacto con el plato contenedor superior. Luego, se verificó que el indicador de carga se encuentre en cero, para poder empezar a aplicar la compresión.
- 4. Aplicación de cargas:** La carga se aplicó continuamente (sin choque) con un rango de 2.5 ± 0.5 kg/cm² por segundo lo que aproximadamente para estos especímenes de diámetro de 150 mm sería la aplicación de carga de 0.5 Toneladas por segundo. Durante el ensayo se ajustó la válvula de inyección de aceite suavemente con el objeto de mantener constante la velocidad de aplicación de la carga. Se aplicó la carga hasta que el espécimen falló y se registró la máxima carga soportada por el espécimen, como la máquina tiene

indicador de carga máxima automático, no se detuvo la aplicación de la carga hasta que esta disminuyó más del 95% de la máxima carga.

5. **Análisis de tipo de fractura y apariencia del concreto:** Después de aplicar la carga y terminar el ensayo se procedió a registrar el tipo de falla de cada espécimen en fotografías, para luego poder clasificarla según el *Gráfico 3.1*, en donde se indica los tipos de falla según la *Norma ASTM C 39*, así mismo se registró el tipo de falla en las caras de fracturas, para determinar el comportamiento de los materiales respecto a la falla por resistencia a compresión.

Gráfico 3.1
Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura, Adoptado de la Norma ASTM C 39



3.9.3.1. La resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días.

Como se explicó en el *ítem 3.8*, Se elaboraron un total de 63 especímenes cilíndricos de concreto, de las cuales 21 especímenes con el Tratamiento 1: Concreto elaborado con Agregado global Sin Lavado; 21 especímenes con el Tratamiento 2: Concreto elaborado con Agregado global Medio Lavado y 21 especímenes con el Tratamiento 3: Concreto elaborado con Agregado global Bien Lavado. De cada 21 especímenes elaboradas con cada tratamiento, cada 7 especímenes fueron ensayados a la edad de 7 , 14 y 28 días. Los resultados obtenidos de resistencia a compresión y análisis de estos se presentan en el *ítem 4.3*. Así mismo, su análisis estadístico se presenta en el *ítem 4.6.3*.

3.9.4. El desarrollo de la resistencia del concreto.

Como se explicó en el *ítem 3.9.2.3*, de cada 21 especímenes elaboradas con cada uno de los 3 tratamientos, cada 7 especímenes fueron ensayados a la resistencia a compresión a la edad de 7, 14 y 28 días. Con estos resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días, podemos determinar el desarrollo de resistencia que presentan cada uno de los tratamientos, expresando el aumento de resistencia a la compresión a la edad de 28 días en porcentaje respecto a las edades de 7 y 28 días. Los resultados obtenidos de desarrollo de resistencia del concreto y análisis de estos se presentan en el *ítem 4.4*.

3.9.5. El módulo de elasticidad del concreto en los especímenes cilíndricos.

La Norma *ASTM C 469 – 94*, describe el método que cubre la determinación del módulo de elasticidad secante de Young y la relación de Poisson¹⁴ en cilindros de concreto moldeados y núcleos de concreto taladrados cuando son sometidos a esfuerzos de compresión longitudinal. Este método de ensayo proporciona un valor de la relación esfuerzo a deformación y una relación de deformación lateral a

¹⁴ La relación de Poisson es una constante elástica que proporciona una medida del estrechamiento de sección de un prisma de material elástico lineal e isótropo cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento.

longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado que pueden ser establecidas.

La Determinación del Esfuerzo – Deformación en los especímenes ensayados a compresión a la edad de 28 días, al no contar con un Compresómetro¹⁵, se determinaron con un deformímetro ubicado en la base móvil de la máquina compresora, por lo que la deformación obtenida habría sido no solo del concreto, sino también de los dos discos de neopreno utilizados para el cabeceo del espécimen, por lo que de usarse estas deformaciones para determinar el módulo de Elasticidad con la curva esfuerzo-deformación se habrían obtenido resultados no significativos para los tratamientos. Así se optó por utilizar la *expresión 2.1, vista en el ítem 3.8.3 del capítulo de Marco teórico*, para la determinación del Módulo de Elasticidad del concreto. Los resultados obtenidos de módulo de elasticidad y análisis de estos se presentan en el *ítem 4.5. Así mismo, su análisis estadístico se presenta en el ítem 4.6.4.*



Imagen N° 18: Mediciones del esfuerzo vs deformación con el deformímetro ubicado en la base móvil inferior.

¹⁵ **Compresómetro:** Para determinar el módulo de elasticidad, se debe disponer de un dispositivo sensible unido o no a la probeta, para medir con una aproximación de 5 millonésima la deformación promedio de dos marcas de referencia diametralmente opuestas, cada una paralela al eje y centradas hacia la mitad de la altura del espécimen. La longitud efectiva de cada marca de referencia no deberá ser menor que tres veces el tamaño máximo del agregado en el concreto ni mayor que 2/3 la altura del espécimen; la longitud preferida de las marcas de referencia es la mitad de la altura del espécimen. [ASTM C 469 – 94]

3.9.6. La uniformidad del concreto en resistencia a compresión.

Las desviaciones estándar de la resistencia a compresión a la edad de 28 días indicarían el grado de cuidado con los que se ha realizado el experimento. Así mismo, al haber tenido un estándar de cuidado igual para todos los tratamientos, también indicarían el grado de uniformidad de cada tratamiento de concreto. Así, para determinar el estándar de control de concreto se utilizó la tabla 3.5. Así mismo, los resultados de uniformidad del concreto en resistencia a compresión y análisis de éstos se presentan en el *ítem* 4.6.3.4.

3.9.7. El costo de la elaboración de concreto por metro cúbico.

Como se explicó en el *ítem* 3.2, la obtención del Agregado Fino Medio Lavado, Agregado Fino Bien Lavado, Agregado Grueso Medio Lavado y Agregado Grueso Bien lavado, implican diferentes tratamientos de lavado, que comprenden la utilización de recursos como mano de obra, herramientas manuales y agua de lavado, por lo que la utilización de estos recursos, aumentarían el costo de elaboración de concreto del tratamiento 2: Concreto elaborado con Agregado global Medio lavado y del tratamiento 3: Concreto elaborado con Agregado Global bien lavado.

Así mismo para calcular el costo de los materiales en nuestra partida de elaboración de un m^3 de concreto se utilizó la dosificación de materiales en volumen como se calculó en el *Anexo VII*, los cuales dieron una proporción en volumen por pié cúbico de **1: 3.22: 3.38/27.23 *lts* × *bolsa*** y la dosificación de materiales en volumen serían:

$$\text{Cemento: } \dots \dots \dots 285.85/42.5 = 6.73 \text{ bolsas}/m^3$$

$$\text{Agua efectiva: } \dots \dots \dots 183.16/1000 = 0.183 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado Fino Húmedo Suelto: } \dots \dots \dots 941.54/1518.6 = 0.620 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso Húmedo Suelto: } \dots \dots \dots 999.83/1539.6 = 0.650 \text{ m}^3$$

Así también la determinación del costo de elaboración de los tres tratamientos de estudio por m^3 , se calculó considerando el rendimiento de las partidas de costos

típicas para concreto que se especifica en la *CAPECO*, así mismo se consideró la dosificación de materiales en volumen para un m^3 de concreto como se determinó en el *Anexo VII*, así mismo se agregó las sub partidas de Lavado de agregado Fino y Lavado de Agregado Grueso y el recurso de agua de lavado para las partidas de costos del tratamiento 2 y del tratamiento 3.

Para el costo hora –hombre se consideró la remuneración básica según las leyes sociales del Perú válidas desde el 31 de mayo del 2013. No se consideraron costos de beneficio de leyes sociales, bonificación unificada de construcción, seguro y movilidad, todo esto para que los costos de mano de obra sean los que comúnmente se utilizan en construcciones comunes en la zona.

3.10. Técnicas, instrumentos de recopilación y procesamiento de información

3.10.1. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Para recopilar la información se usaron los Métodos Cuantitativo y Cualitativo.

El Método Cuantitativo se usó para medir las variables cuantitativas de estudio de los tratamientos de concreto elaborados; para lo cual se emplearon equipos e instrumentos del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNC, tales como: Maquina de ensayo a compresión, Balanzas, Calibradores, Tamices ASTM.

El Método Cualitativo se usó para describir algunas propiedades ó variables cuantitativas de los tratamientos de concreto elaborados, tales como: trabajabilidad del concreto, apariencia del concreto, tipo de fractura, modo de falla; para lo cual se empleó la observación directa en el laboratorio.

3.10.2. Técnicas de procesamiento y análisis de información.

La información cuantitativa que se obtuvo de las variables de estudio de los tratamientos de concreto fue procesada mediante métodos estadísticos como la determinación de promedios, el análisis de varianza y agrupación de los tratamientos usando la prueba de rango múltiple de Tukey. Para lo cual se emplearon programas

computarizados como el Microsoft Excel 2010 y el Minitab 16.1, con los que se obtuvo resultados de estos métodos y gráficas representativas.

3.10.2.1. Análisis estadístico de los resultados.

Los resultados de los ensayos realizados están sujetos a variaciones, que indicarían la uniformidad de estos resultados y el cuidado en la realización de los ensayos. Asimismo, con estas variaciones se puede diferenciar el comportamiento de los tratamientos de estudio mediante el análisis estadístico. Por ello se realizaron los análisis estadísticos de los resultados de las siguientes variables de evaluación: (a) Asentamiento en el concreto en estado no endurecido, (b) Peso unitario de los especímenes cilíndricos de concreto, (c) Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días. Para lo cual se realizó un análisis estadístico de varianza y la prueba de rango múltiple de Tukey. Se analizó también los estándares de control del concreto en resistencia a compresión.

Análisis estadístico de varianza (ANOVA) y prueba de rango múltiple de Tukey.

Se utilizó el Análisis de Varianza (ANOVA) ya que es uno de los métodos estadísticos más utilizados y más elaborados en la investigación moderna. Se usa para la prueba de hipótesis para dos o más medias poblacionales; de tal manera que en investigación permite probar si dos o más medias muestrales pertenecen o no a la misma población. Si las medias muestrales tienen diferencia estadística entonces significa que pertenecen a diferentes poblaciones.

Esta prueba se basa en la descomposición de la variación total existente de cada variable cuantitativa en sus componentes llamados fuentes de variabilidad. Para nuestro caso estas fuentes de variabilidad serán: tratamiento y error correspondiendo a un diseño experimental llamado "Diseño completamente al azar", Diseño recomendado para trabajos de laboratorio, como en la presente tesis.

Respecto a las Pruebas de Rango Múltiple (PRM) son pruebas estadísticas que permiten conocer la diferencia estadística entre las medias muestrales de los tratamientos que se estudian; por lo tanto se usan cuando en el cuadro de análisis

de varianza se encuentra significación estadística en la fuente de variación respectiva. Para nuestro caso se usó la PRM de Tukey para la fuente de tratamientos; ya que dicha fuente mostró significación estadística en el ANOVA; siendo esta prueba más exigente que otras como la PRM de Duncan.

Los cálculos de estos ANOVA y de las pruebas de rango múltiple de Tukey se realizaron utilizando el programa estadístico *Minitab versión 16.1.0* del año 2010 que sirve para realizar análisis estadísticos y gráficas de estos.

Estándares de control de concreto en resistencia a compresión.

El comité ACI 214 propone la *tabla 3.10.2.1* tomada del *reporte del ACI 214 -77*, donde se dan los estándares del control del concreto mediante los resultados de desviación estándar¹⁶, considerando si las operaciones fueron realizadas en construcciones en general o ensayos de laboratorio. Se realizó el análisis estándares de control del concreto para los resultados de resistencia a compresión a la edad de 28 días.

Tabla 3.5
Estándares para control del concreto (ACI 214-77)

Clase de operación	Desviación estándar para los diferentes estándares de control. (kg/cm ²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
Construcción en general	Menos de 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	Más de 49.2
Ensayos en laboratorio	Menos de 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	Más de 24.6

3.11. Relación entre el planteamiento y la solución del problema de investigación

En la *Tabla 3.6* se presenta la relación entre los componentes del planteamiento del problema de investigación y los componentes de su solución.

¹⁶ La desviación estándar es una medida de la dispersión o variabilidad de los datos respecto al promedio.

Tabla 3.6
Relación entre el planteamiento y la solución del problema de investigación

Planteamiento del problema			Hacia la solución del problema	
Preguntas	Objetivos	Hipótesis	Variables de estudio	Técnicas
¿Cuál es la influencia de la presencia de materiales muy finos de los agregados en la resistencia a compresión del concreto?	Determinar la influencia de la presencia de materiales muy finos de los agregados en la resistencia a compresión del concreto	Al disminuir el porcentaje de MMF del agregado global en más del 40% cuando éstos alcanzan aproximadamente un 2.20% de su composición, se obtendrán valores de resistencia a compresión del concreto mayores al 20%.	-Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días: Kg/cm ²	-Técnicas de medición para variables cuantitativas (Técnicas establecidas) -Técnicas de procesamiento y análisis de información. (Técnicas establecidas)
¿Cuál es la influencia de la presencia de materiales muy finos de los agregados sobre otras de sus propiedades del concreto?	Determinar la influencia de la presencia de materiales muy finos de los agregados sobre otras de sus propiedades del concreto.	La disminución de los materiales muy finos de los agregados aumentará la fluidez de la consistencia del concreto en estado no endurecido.	-Asentamiento en el concreto en estado no endurecido: cm	-Técnicas de medición para variables cuantitativas (Técnicas establecidas)
		La variación del peso unitario del concreto estará relacionada con la consistencia que presentará éste en estado no endurecido.	-Peso unitario de los especímenes cilíndricos de concreto: Kg/m ³	-Técnicas de medición para variables cuantitativas (Técnicas establecidas)
		La disminución de los materiales muy finos de los agregados aumentará el desarrollo de la resistencia a compresión del concreto.	-Desarrollo de la resistencia a compresión del concreto: En % de aumento de resistencia a las edades de 7, 14 y 28 días.	-Técnicas de procesamiento y análisis de información. (Técnicas establecidas)
		La disminución de los materiales muy finos de los agregados aumentará la uniformidad de la resistencia a compresión del concreto.	-Uniformidad del concreto: desviación estándar en Kg/cm ²	-Técnicas de procesamiento y análisis de información. (Técnicas establecidas)
		La disminución de los materiales muy finos de los agregados aumentará el módulo de elasticidad del concreto.	-Módulo de elasticidad del Concreto: Kg/cm ²	-Técnicas de procesamiento y análisis de información. (Técnicas establecidas)
¿Cuál es la variación de los costos de elaboración de concretos con agregados con diferentes cantidades de MMF?	Estimar la variación de los costos de elaboración de concretos con agregados con diferentes cantidades de MMF	Los concretos elaborados con agregados cuyos MMF fueron reducidos en más del 40%, cuando éstos alcanzan aproximadamente un 2.20% de su composición, tendrán un costo superior al 8%.	-Costo de la elaboración de concreto por metro cúbico: \$/.	-Técnicas de procesamiento y análisis de información. (Técnicas establecidas)

Capítulo

IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de las variables evaluadas

4.1. Análisis de la consistencia de los tratamientos

Se consideró determinar el asentamiento de tres tandas de mezclas de cada tipo de tratamiento que se realizaron para elaborar los 21 especímenes cilíndricos de concreto (unidades de estudio) de cada tratamiento, se calculó el promedio de los tres asentamientos determinados por cada tratamiento, obteniendo los resultados que se exponen en la *Tabla 4.1*.

Tabla 4.1
Asentamientos del concreto según los tipos de tratamiento

Tandas de concreto.	Concreto Con Agregado Sin Lavado (2.21% MMF)	Concreto Con Agregado Medio Lavado (1.24% MMF)	Concreto Con Agregado Bien Lavado (0.23% MMF)
Tanda 1	6.5 cm	8 cm	12 cm
Tanda 2	5.5 cm	8 cm	11 cm
Tanda 3	6 cm	7 cm	11 cm
Promedio	5.8 cm	7.7 cm	11.3 cm



Imagen N° 19: Asentamiento de 5.5 cm de una tanda de Concreto con Agregado Global Sin Lavado (2.21% MMF)



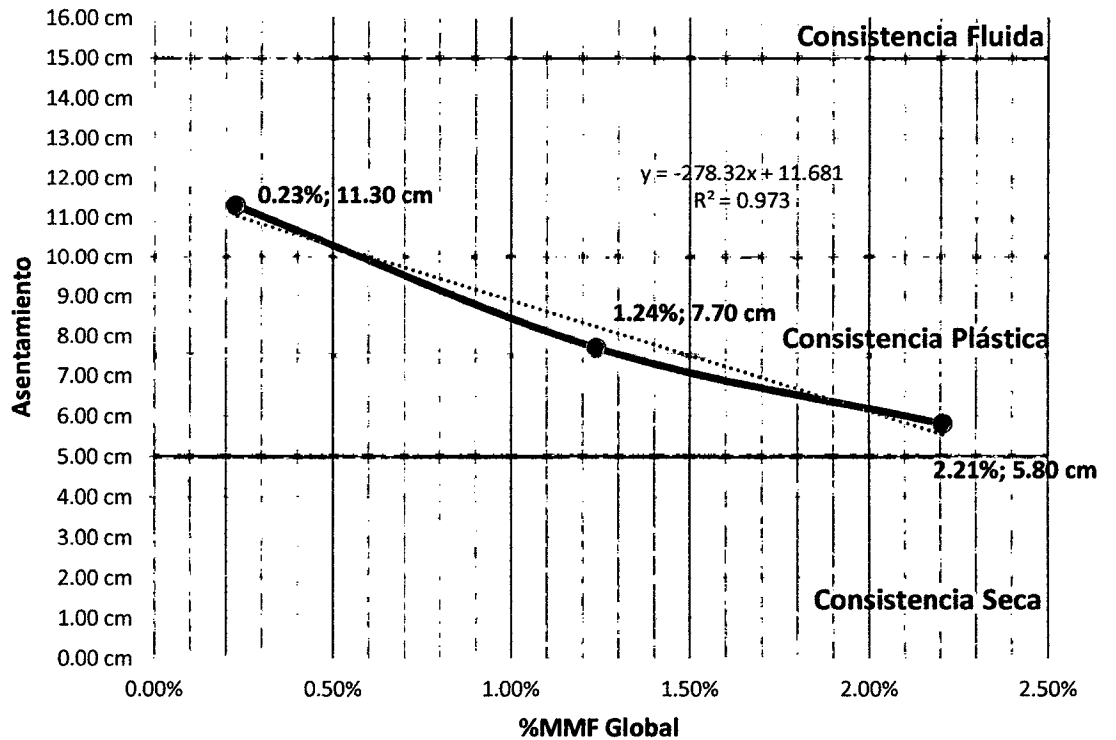
Imagen N° 20: Asentamiento de 7 cm de una tanda de Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF)



Imagen N° 21: Asentamiento de 11 cm de una tanda de Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF)

Gráfico 4.1

Asentamiento vs % MMF Global.



Como podemos observar en el *Gráfico 4.1*, los tratamientos que a pesar de contar con la misma dosificación de materiales de mezcla, presentaron diferentes asentamientos que se relacionaron con el % de MMF en los agregados, por la característica que tiene el Material Muy Fino para tomar agua de la mezcla y así modificar la consistencia del concreto en estado no endurecido. El concreto elaborado con Agregado Global (Sin Lavado) con 2.21% MMF presentó un asentamiento promedio de 5.8 cm teniendo una consistencia entre plástica y seca, el concreto elaborado con Agregado Global (Medio Lavado) con 1.24% MMF presentó un asentamiento promedio de 7.7 cm teniendo una consistencia plástica, el concreto elaborado con Agregado Global (Bien Lavado) con 0.23% MMF presentó un asentamiento promedio de 11.3 cm teniendo una consistencia entre plástica y fluida.

Con esto comprendemos la capacidad que tiene el MMF de modificar la consistencia del concreto en estado no endurecido, modificando así también su trabajabilidad, por lo que se tendrían que tomar algunas medidas para obtener la consistencia y trabajabilidad deseados, Así sería el caso de concretos elaborados con las cantidades de MMF del Agregado Sin Lavado, como se obtuvo de la cantera de estudio, los cuales presentarían una consistencia seca, lo que llevaría a aumentar el agua de mezcla, que también conllevaría a tener una mayor relación agua/cemento que produciría una disminución de la resistencia a compresión del concreto, se podría optar por aumentar también la cantidad de cemento para mantener la relación agua/cemento, así aumentado el costo de producción del concreto.

4.2. Análisis del Peso unitario de los especímenes cilíndricos de concreto.

Se calculó el peso unitario de los 7 especímenes cilíndricos que se ensayaron a la edad de 28 días que se elaboraron con cada tratamiento, para lo cual se determinó primeramente la medida de 3 diámetros, la altura y el peso de cada espécimen. Como se describe en las siguientes tablas:

Tabla 4.2

Peso unitario de los especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 1: Concreto con Agregado Global Sin Lavado (2.21%MMF) a la edad de 28 días.

ESPECIMEN	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Peso (kg)	Peso unitario (Kg/m ³)
SL-15	15.33	15.35	15.17	183.44	30.51	13.045	2330.815
SL-16	15.451	15.27	15.23	184.257	30.63	13.135	2327.336
SL-17	14.98	15.66	15.44	185.293	30.59	13.07	2305.882
SL-18	14.93	15.63	15.55	185.535	30.45	13.09	2317.002
SL-19	15.38	15.41	15.13	184.017	30.59	13.06	2320.095
SL-20	15.32	15.39	15.21	184.017	30.7	13.055	2310.897
SL-21	15.2	15.49	15.2	183.776	30.55	12.965	2309.258
Promedio:							2317.326

Tabla 4.3

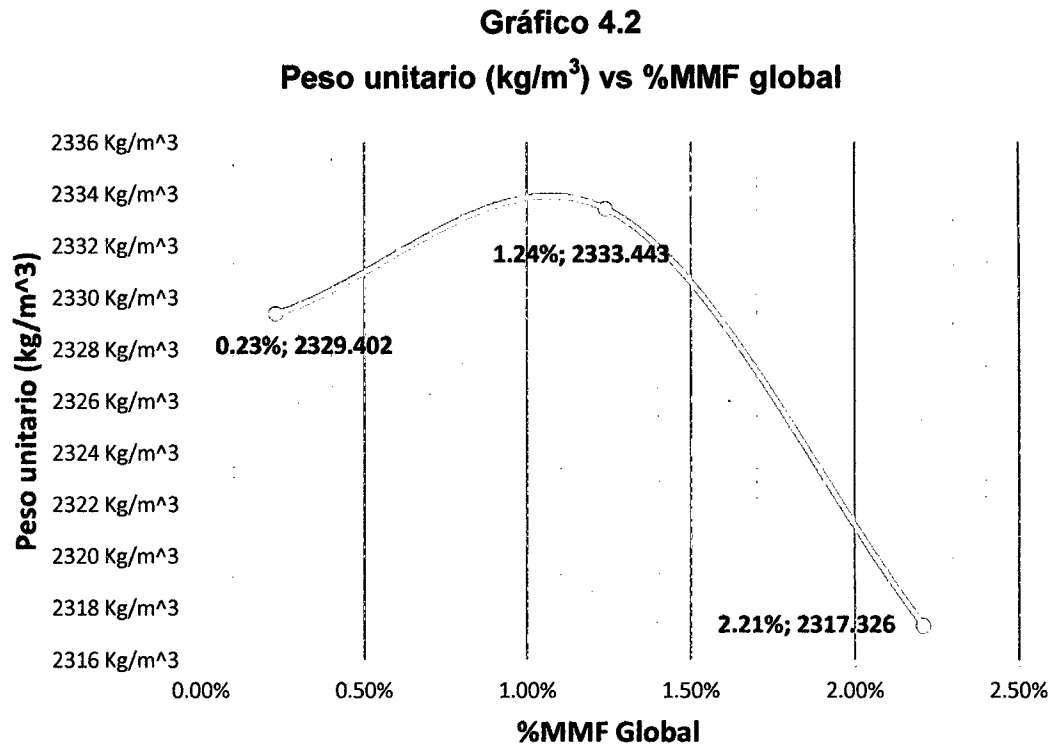
Peso unitario de los especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 2: Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF) a la edad de 28 días.

ESPECIMEN	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Peso (kg)	Peso unitario (Kg/m ³)
ML-15	15.49	15.33	15.28	185.462	30.51	13.285	2347.818
ML-16	14.85	15.67	15.64	185.945	30.63	13.325	2339.568
ML-17	15.59	15.11	15.21	183.921	30.72	13.185	2333.606
ML-18	15.39	15.13	15.59	185.535	30.6	13.255	2334.707
ML-19	15.44	15.27	15.34	185.052	30.7	13.235	2329.656
ML-20	15.48	15.38	15.43	186.986	30.78	13.32	2314.337
ML-21	15.51	15.32	15.28	185.535	30.5	13.21	2334.41
Promedio:							2333.443

Tabla 4.4

Peso unitario de los especímenes cilíndricos elaborados con el Tratamiento 3: Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF) a la edad de 28 días.

ESPECIMEN	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Peso (kg)	Peso unitario (Kg/m ³)
BL-15	15.37	15.54	15.11	184.811	30.68	13.21	2329.805
BL-16	15.46	15.52	15.33	187.156	30.8	13.41	2326.346
BL-17	14.92	15.58	15.52	184.811	30.65	13.225	2334.734
BL-18	15.37	15.14	15.31	183.2	30.5	13.04	2333.739
BL-19	15.37	15.14	15.31	183.2	30.6	13.11	2338.599
BL-20	15.26	15.16	15.15	181.214	30.61	12.95	2334.612
BL-21	15.52	15.6	15.31	188.127	30.62	13.295	2307.98
Promedio:							2329.402



En el *Gráfico 4.2* podemos observar los concretos elaborados con diferentes % de MMF presentan promedios de pesos unitarios. El concreto elaborado con Agregado Global (Sin Lavado) con 2.21% MMF presentó un Peso unitario promedio de 2317.33 Kg/m³ teniendo el menor valor de peso unitario de los tres tratamientos, el concreto elaborado con Agregado Global (Medio Lavado) con 1.24% MMF presentó un Peso unitario promedio de 2333.44 Kg/m³ teniendo el mayor valor de peso unitario de los tres tratamientos y el concreto elaborado con Agregado Global (Bien Lavado) con 0.23% MMF presentó un Peso unitario promedio de 2329.40 Kg/m³.

Los resultados de pesos unitarios del concreto de cada tratamiento, se relacionan con la consistencia de estos en estado no endurecido. El concreto con 2.21%MMF presentó una consistencia casi seca que no favorece a la compactación del concreto, ocasionado que tenga una mayor cantidad de aire atrapado que los otros tratamientos, así mismo, esta consistencia también habría generado mayor cantidad de cemento no hidratado, todo esto habría disminuido su peso unitario. El concreto con 1.24%MMF presentó una consistencia plástica que habría favorecido a su compactación, disminuyendo la cantidad de aire atrapado, así mismo al no presentar

una cantidad considerable de agua suelta como seria en el caso de una consistencia fluida, habría presentado una menor cantidad de poros capilares, por lo que es razonable que presente el promedio mayor de peso específico. El concreto con 0.23%MMF presentó una consistencia fluida, por lo habría favorecido a su compactación, pero aumentado la cantidad de poros capilares.

4.3. Análisis de los resultados de pruebas de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos

Se calculó el resistencia a compresión a la edad de 7, 14, 28 días de cada tratamiento, considerando también indicar el tipo de fractura que presentó según el *Gráfico 3.1* que es un diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura, Adoptado de la *Norma ASTM C 39*, así también se describió el modo de falla en las caras de fractura para determinar el comportamiento de los materiales respecto a la falla por resistencia a compresión.

4.3.1. Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7 días.

4.3.1.1. Análisis del Concreto con Agregado Global Sin Lavado (2.21%MMF)

Tabla 4.5

Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de Concreto con Agregado Global Sin Lavado (2.21%MMF), a la edad de 7 días.

Especimen	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Carga (Tn)	Diámetro promedio	Área (cm ²)	Tipo de Fractura *	f'c a los 7 días (Kg/cm ²)
SL-01	15.174	15.246	14.958	23.50	15.126	179.691	Tipo 3	130.78
SL-02	15.15	15.46	15.06	24.50	15.223	182.003	Tipo 6	134.613
SL-03	15.24	15.088	15.38	23.00	15.236	182.314	Tipo 4	126.156
SL-04	15.194	15.04	15.1	27.90	15.111	179.334	Tipo 3	155.576
SL-05	15.09	15.11	15.171	25.00	15.124	179.643	Tipo 3	139.165
SL-06	15.05	15.15	15.12	26.00	15.107	179.239	Tipo 4	145.058
SL-07	15.3	15.08	15.13	24.50	15.17	180.737	Tipo 3	135.556
Promedio:								138.129

*Tomado del *Gráfico 3.1*, de patrones típicos de falla de especímenes cilíndricos.



Imagen N° 22: Tipo de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Sin Lavado 2.21%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 7 días.

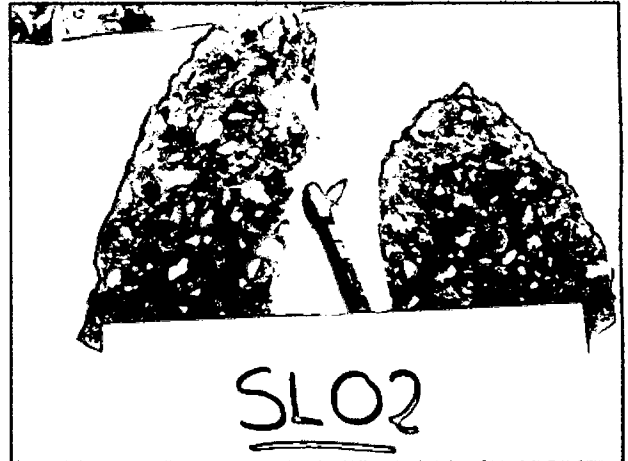


Imagen N° 23: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Sin Lavado 2.21%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 7 días.

Tipo de fractura:

El Tipo de fractura presentado por estos especímenes fue progresiva, presentándose inicialmente grietas en los extremos del espécimen, que luego fueron creciendo hasta formarse grietas verticales a través de ambos extremos, La fractura progresiva puede ser un indicador de no tener una buena adherencia entre los materiales del concreto.

Modo de falla en las caras de fractura:

Se observó que en las caras de fractura de estos especímenes falló la pasta de cemento, más no el agregado, existiendo desprendimiento del agregado de la pasta, observándose mayormente el agregado limpio de pasta, esto pudo ocurrir a causa de que una cantidad significativa de MMF estuvo como revestimiento en la grava del agregado.

4.3.1.2. Análisis del Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF)

Tabla 4.6

Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF) a la edad de 7 días.

Especímen	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Carga (Tn)	Diámetro promedio	Área (cm ²)	Tipo de Fractura *	f _c a los 7 días (Kg/cm ²)
ML-01	15.25	15.05	15.15	30.50	15.15	180.261	Tipo 4	169.199
ML-02	15.42	15.35	15.35	30.00	15.373	185.607	Tipo 4	161.632
ML-03	15.44	15.42	15.38	29.50	15.413	186.574	Tipo 3	158.114
ML-04	15.17	15.15	15.07	28.50	15.13	179.786	Tipo 3	158.522
ML-05	15.36	15.33	15.39	29.00	15.36	185.293	Tipo 3	156.509
ML-06	15.1	15.14	15.12	30.50	15.12	179.548	Tipo 4	169.871
Promedio:								161.867

*Tomado del gráfico 3.1, de patrones típicos de falla de especímenes cilíndricos



Imagen N° 24: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Medio Lavado 1.24 %MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 7 días.

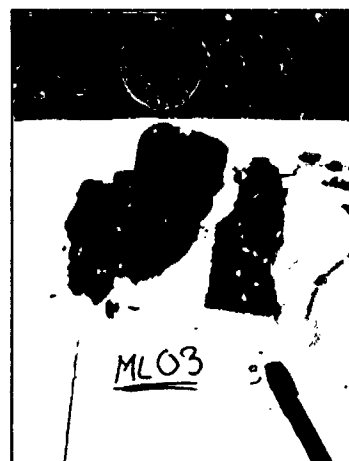


Imagen N° 25: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Medio lavado con 1.24%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 7 días.

Tipo de fractura:

El Tipo de fractura presentado por estos especímenes fue mayormente progresiva, presentándose inicialmente grietas en los extremos del espécimen, que luego fueron creciendo hasta formarse grietas verticales a través de ambos extremos, La fractura progresiva puede producirse por no tener una buena adherencia entre los materiales.

Modo de falla en las caras de fractura:

Se observó que en las caras de fractura de estos especímenes falló mayormente la pasta de cemento, más que el agregado, existiendo también desprendimiento del agregado de la pasta.

4.3.1.3. Análisis del Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF)

Tabla 4.7

Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF), a la edad de 7 días.

Espécimen	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Carga (Tn)	Diámetro promedio	Área (cm ²)	Tipo de Fractura *	f _c a los 7 días (Kg/cm ²)
BL-01	15.012	15.23	15.24	31.00	15.161	180.523	Tipo 3	171.723
BL-02	15.253	15.19	15.29	33.50	15.244	182.505	Tipo 4	183.557
BL-03	15.483	15.55	15.37	29.50	15.468	187.908	Tipo 3	156.992
BL-04	15.32	15.25	15.38	32.00	15.317	184.257	Tipo 4	173.67
BL-05	15.42	15.53	15.31	34.50	15.42	186.744	Tipo 6	184.745
BL-06	15.18	15.22	15.25	33.50	15.217	181.859	Tipo 6	184.209
Promedio:								175.816

**Tomado del gráfico 3.1, de patrones típicos de falla de especímenes cilíndricos.*

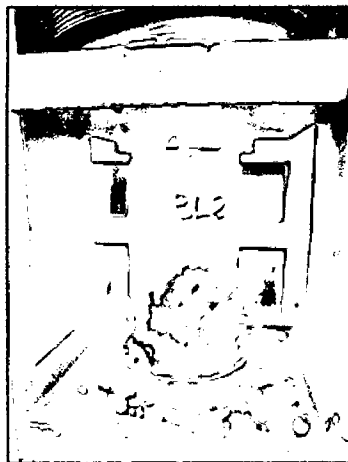


Imagen N° 26: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Bien Lavado 0.23% MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 7 días.



Imagen N° 27: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Bien Lavado con 0.23 %MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 7 días.

Tipo de fractura:

Los tipos de fractura presentados por estos especímenes fueron mayormente precipitadas, sin presentar al comienzo grietas al comienzo como en los otros tratamientos, esto podría significar que hubo una mejor adherencia de materiales del concreto, a razón de que el recubrimiento de MMF en los agregados fue mínimo.

Modo de falla en las caras de fractura:

Se observó que en las caras de fractura de estos especímenes falló tanto la pasta y los agregados, presentando un menor desprendimiento de la pasta y el agregado que en los otros dos tratamientos, esto pudo ser a causa de que la cantidad de MMF que estuvo como revestimiento en la grava del agregado fue mínima.

4.3.2. Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 14 días.

4.3.2.1. Análisis del Concreto con Agregado Global Sin Lavado (2.21%MMF)

Tabla 4.8

Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de Concreto con Agregado Global Sin Lavado (2.21%MMF) a la edad de 14 días.

Especímen	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Carga (Tn)	Diámetro promedio	Área (cm ²)	Tipo de Fractura *	f'c a los 14 días (Kg/cm ²)
SL-08	15.08	14.87	15.6	26.00	15.183	181.047	Tipo 6	143.609
SL-09	15.152	15.55	15.86	28.50	15.521	189.198	Tipo 4	150.636
SL-10	15.24	15.09	15.47	34.50	15.267	183.056	Tipo 2	188.467
SL-11	15.23	15.41	15.1	30.00	15.247	182.577	Tipo 3	164.314
SL-12	15.54	15.13	15.171	34.00	15.28	183.368	Tipo 3	185.419
SL-13	15.57	15.13	15.41	33.50	15.37	185.535	Tipo 3	180.559
SL-14	15.74	15.12	15.12	25.00	15.327	184.498	Tipo 3	135.503
Promedio:								168.834

*Tomado del gráfico 3.1, de patrones típicos de falla de especímenes cilíndricos.

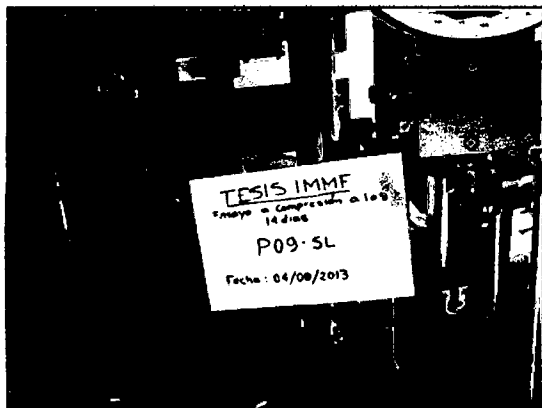


Imagen N° 28: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Sin Lavado 2.21%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 14 días.

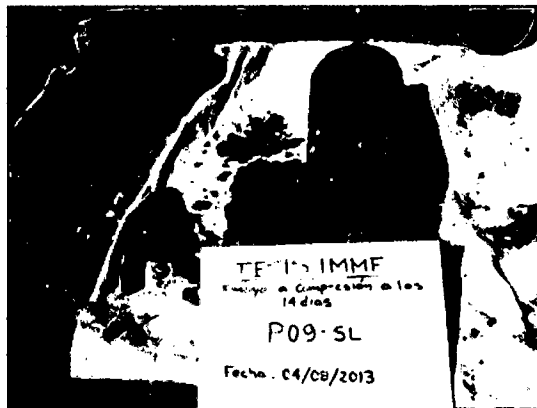


Imagen N° 29: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Sin Lavado 2.21%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 14 días.

Tipo de fractura:

Mayormente el Tipo de fractura presentado por estos especímenes fue progresiva, presentándose inicialmente grietas en los extremos del espécimen, que luego fueron creciendo hasta formarse grietas verticales a través de ambos extremos.

Modo de falla en las caras de fractura:

Se observó que en estos especímenes mayormente falló la pasta de cemento, existiendo desprendimiento del agregado de la pasta.

4.3.2.2. Análisis del Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF)

Tabla 4.9

Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF) a la edad de 14 días.

Especímen	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Carga (Tn)	Diámetro promedio	Área (cm ²)	Tipo de Fractura *	f _c a los 14 días (Kg/cm ²)
ML-08	15.152	15.334	15.31	44.90	15.265	183.008	Tipo 2	245.344
ML-09	15.27	15.236	15.33	42.40	15.279	183.344	Tipo 6	231.259
ML-10	15.412	15.198	15.1	39.10	15.237	182.338	Tipo 6	214.437
ML-11	15.17	15.15	15.07	41.50	15.13	179.786	Tipo 2	230.83
ML-12	15.24	15.34	15.2	43.50	15.26	182.888	Tipo 3	237.85
ML-13	15.52	15.12	15.12	42.00	15.253	182.721	Tipo 6	229.859
ML-14	15.31	15.26	15.17	38.50	15.247	182.577	Tipo 6	210.87
Promedio:								228.636

*Tomado del gráfico 3.1, de patrones típicos de falla de especímenes cilíndricos.

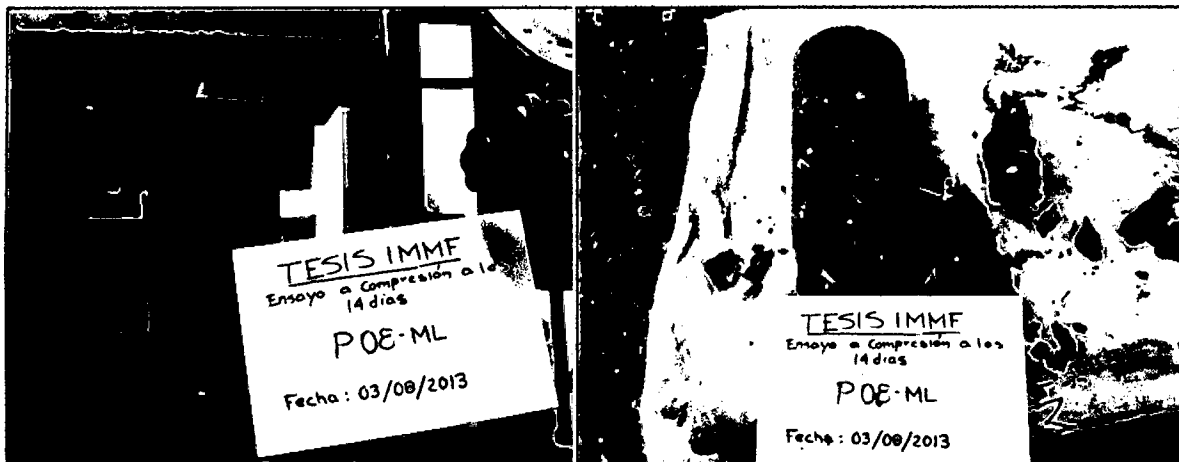


Imagen N° 30: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Medio Lavado con 1.24% MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 14 días.

Imagen N° 31: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Medio Lavado con 1.24% MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 14 días.

Tipo de fractura:

El Tipo de fractura presentado por estos especímenes fue variada, algunas fueron precipitadas y otras progresivas.

Modo de falla en las caras de fractura:

Se observó que en estos especímenes fallo mayormente la pasta de cemento, existiendo también de desprendimiento de la pasta del agregado.

4.3.2.3. Análisis del Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF)

Tabla 4.10

Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF) a la edad de 14 días.

Especímen	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Carga (Tn)	Diámetro promedio	Área (cm ²)	Tipo de Fractura *	f'c a los 14 días (Kg/cm ²)
BL-08	14.912	15.21	14.91	44.50	15.011	176.969	Tipo 5	251.456
BL-09	15.11	15.2	15.03	43.00	15.113	179.382	Tipo 5	239.712
BL-10	15.09	15.6	15.55	41.50	15.413	186.574	Tipo 5	222.432
BL-11	15.246	15.216	15.15	43.00	15.204	181.549	Tipo 6	236.851
BL-12	15.27	15.16	15.24	42.00	15.223	182.003	Tipo 6	230.765
BL-13	15.09	15.55	15.12	43.50	15.253	182.721	Tipo 6	238.068
BL-14	15.63	15.08	15.09	40.00	15.267	183.056	Tipo 6	218.512
Promedio:								233.971

*Tomado del gráfico 3.1, de patrones típicos de falla de especímenes cilíndricos.

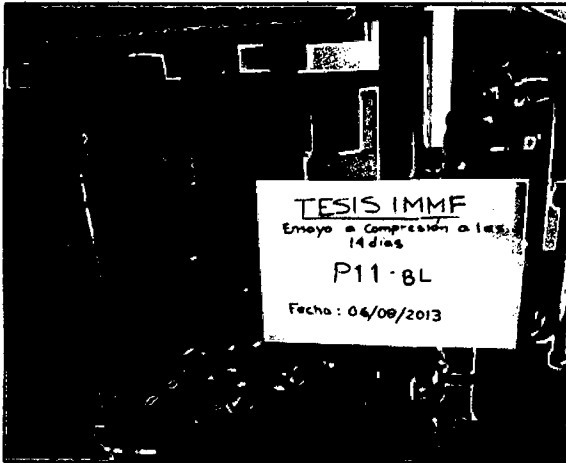


Imagen N° 32: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Bien Lavado con 0.23% MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 14 días.



Imagen N° 33: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Bien Lavado 0.23% MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 14 días.

Tipo de fractura:

El Tipo de fractura presentado por estos especímenes fue precipitada, sin presentar al comienzo grietas al comienzo como en los otros tratamientos, esto podría significar que hubo una buena adherencia de materiales del concreto, a razón de que el recubrimiento de MMF en los agregados fue mínimo.

Modo de falla en las caras de fractura:

Se observó que en estos especímenes caras de fractura, que falló tanto la pasta como los agregados, presentando un menor desprendimiento de la pasta y el agregado que en los otros dos tratamientos, esto pudo ser a causa de que la cantidad de MMF estuvo como revestimiento en la grava del agregado fue mínima.

4.3.3. Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 28 días.

4.3.3.1. Análisis del Concreto con Agregado Global Sin Lavado (2.21%MMF)

Tabla 4.11

Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de Concreto con Agregado Global Sin Lavado (2.21%MMF) a la edad de 28 días.

Espécimen	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Carga (Tn)	Diámetro promedio	Área (cm ²)	Tipo de Fractura *	f'c a los 28 días (Kg/cm ²)
SL-15	15.33	15.35	15.17	34.70	15.283	183.44	Tipo 3	189.163
SL-16	15.451	15.27	15.23	43.50	15.317	184.257	Tipo 3	236.083
SL-17	14.98	15.66	15.44	37.00	15.36	185.293	Tipo 6	199.684
SL-18	14.93	15.63	15.55	34.00	15.37	185.535	Tipo 6	183.254
SL-19	15.38	15.41	15.13	41.50	15.307	184.017	Tipo 2	225.523
SL-20	15.32	15.39	15.21	31.50	15.307	184.017	Tipo 5	171.18
SL-21	15.2	15.49	15.2	39.00	15.297	183.776	Tipo 3	212.215
Promedio:								202.443

**Tomado del gráfico 3.1, de patrones típicos de falla de especímenes cilíndricos.*



Imagen N° 34: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Sin Lavado 2.21%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 28 días.



Imagen N° 35: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Sin Lavado con 2.21%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 28 días.

Tipo de fractura:

Mayormente el Tipo de fractura presentado por estos especímenes fue progresiva, presentándose inicialmente grietas en los extremos del espécimen, que luego fueron creciendo hasta formarse grietas verticales a través de ambos extremos, La fractura progresiva puede producirse por no tener una buena adherencia entre los materiales.

Modo de falla en las caras de fractura:

Se observó que en las caras de fractura de estos especímenes falló más la pasta de cemento que el agregado, presentándose así desprendimiento del agregado y la pasta de cemento. Además, las superficies de las caras de fractura se presentaron no uniformes.

4.3.3.2. Análisis del Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF)**Tabla 4.12**

Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF) a la edad de 28 días.

Especimen	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Carga (Tn)	Diámetro promedio	Área (cm ²)	Tipo de Fractura *	f _c a los 28 días (Kg/cm ²)
ML-15	15.49	15.33	15.28	48.00	15.367	185.462	Tipo 6	258.813
ML-16	14.85	15.67	15.64	47.00	15.387	185.945	Tipo 6	252.763
ML-17	15.59	15.11	15.21	52.00	15.303	183.921	Tipo 6	282.73
ML-18	15.39	15.13	15.59	56.50	15.37	185.535	Tipo 5	304.525
ML-19	15.44	15.27	15.34	55.50	15.35	185.052	Tipo 5	299.916
ML-20	15.48	15.38	15.43	51.00	15.43	186.986	Tipo 5	272.748
ML-21	15.51	15.32	15.28	50.00	15.37	185.535	Tipo 6	269.491
Promedio:								277.284

**Tomado del gráfico 3.1, de patrones típicos de falla de especímenes cilíndricos.*



Imagen N° 36: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Medio Lavado 1.24% MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 28 días.

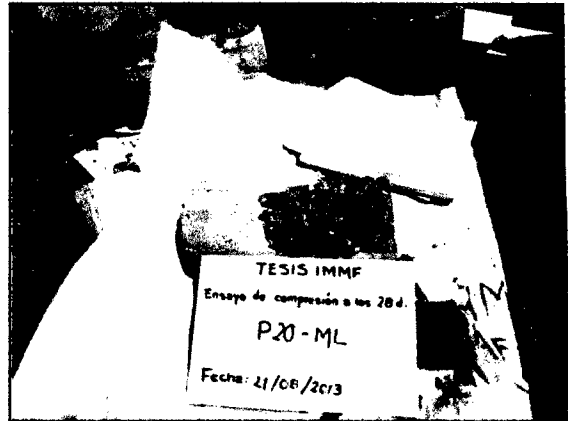


Imagen N° 37: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Medio Lavado con 1.24% MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 28 días.

Tipo de fractura:

El Tipo de fractura presentado por estos especímenes fue precipitada, sin presentar grietas al comienzo de la fractura, en la mayoría de casos con un sonido de golpe en el momento de la falla, esto significaría que se desarrolló una buena adherencia de sus materiales y la resistencia de la pasta fue óptima.

Modo de falla en las caras de fractura:

Se observó que en las caras de fractura de estos especímenes, que falló tanto la pasta como los agregados, presentando un menor desprendimiento de la pasta y el agregado. Además, las superficies de las caras de fractura se presentaron uniformes.

4.3.3.3. Análisis del Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF)

Tabla 4.13

Ensayo de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF) a la edad de 28 días.

Especímen	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Carga (Tn)	Diámetro promedio	Área (cm ²)	Tipo de Fractura *	Fc a los 28 días (Kg/cm ²)
BL-15	15.37	15.54	15.11	48.00	15.34	184.811	Tipo 6	259.725
BL-16	15.46	15.52	15.33	49.50	15.437	187.156	Tipo 5	264.485
BL-17	14.92	15.58	15.52	51.50	15.34	184.811	Tipo 6	278.663
BL-18	15.37	15.14	15.31	47.50	15.273	183.2	Tipo 6	259.279
BL-19	15.37	15.14	15.31	50.00	15.273	183.2	Tipo 6	272.926
BL-20	15.26	15.16	15.15	46.50	15.19	181.214	Tipo 5	256.603
BL-21	15.52	15.6	15.31	49.00	15.477	188.127	Tipo 6	260.462
Promedio:								264.592

*Tomado del gráfico 3.1, de patrones típicos de falla de especímenes cilíndricos.

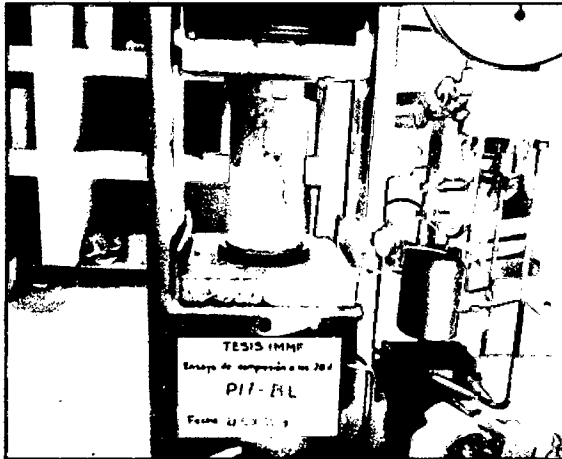


Imagen N° 38: Tipo de fractura de un espécimen elaborado con Agregado Global Bien Lavado 0.23 % MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 28 días.

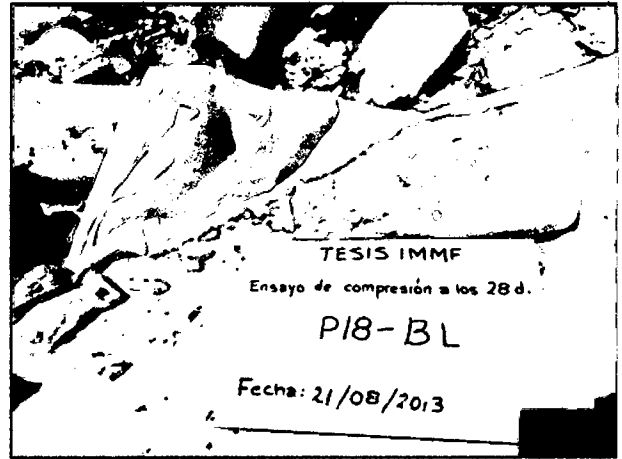


Imagen N° 39: Apariencia del concreto en una cara de falla de un espécimen elaborado con Agregado Global Bien Lavado con 2.21%MMF, ensayado a resistencia a compresión a la edad de 28 días.

Tipo de fractura:

El Tipo de fractura presentado por estos especímenes fue precipitada, en algunos casos con un sonido de golpe en el momento de la falla, esto significaría que se hubo una buena adherencia de materiales del concreto y la resistencia de la pasta fue óptima.

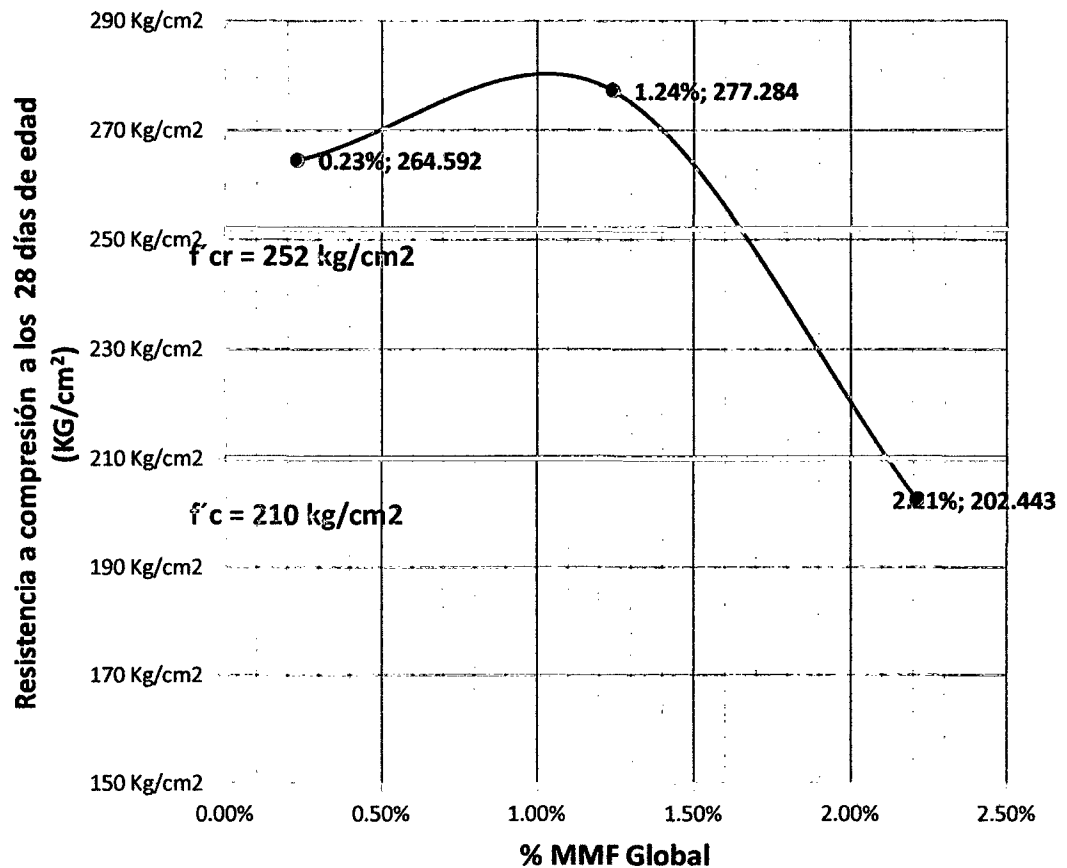
Tipo de falla en las caras de fractura:

Se observó que en las caras de fractura de estos especímenes, que falló tanto la pasta como los agregados, presentando un menor desprendimiento de la pasta y el agregado, las superficies de las caras de fractura se presentaron uniformes.

4.3.4. Análisis de la resistencia a compresión final.

Gráfico 4.3

f'_c promedio a los 28 días vs % MMF Global



En el Gráfico 4.3 podemos observar que el Concreto elaborado con Agregado Global Sin Lavado (2.21% MMF) presentó el menor promedio de resistencia a compresión final a la edad de 28 días de 202.44 Kg/cm², siendo este resultado menor que el f'_c y el f'_{cr} , esto pudo ocurrir a causa de que el MMF originó que tenga una consistencia en estado no endurecido casi seca que no favoreció a su compactación, también el

agua absorbida por el MMF que quitó agua para la formación de la pasta de cemento, podría haber generado que exista cemento no hidratado que habría disminuido su resistencia. Así mismo, los recubrimientos con MMF del agregado, no habrían favorecido la adherencia de la pasta de cemento con los agregados, por no presentar una superficie limpia para la adherencia como se comprobó en el ítem anterior que el modo de falla fue por desprendimiento de la pasta de cemento con el agregado. Además, se sabe que por los cambios de volumen de las arcillas al estar en contacto con el agua también disminuyen la resistencia del concreto debido a que la expansión de las arcillas generan desarrollo de presiones internas en el concreto haciendo que la resistencia de éste disminuya.

El concreto elaborado con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF) presentó el mayor promedio de resistencia a compresión final a la edad de 28 días de 277.28 Kg/cm², siendo este resultado mayor que el f_c y el f'_{cr} , siendo mayor en 27.0 % que el promedio de resistencia del Concreto elaborado con Agregado Global Sin Lavado (2.21% MMF) y en 4.6% que el promedio de resistencia del Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF), esto pudo ocurrir debido a que presentó una consistencia plástica en estado no endurecido, que favoreció a su compactación, existiendo menor cantidad de aire atrapado, además al no existir una considerable cantidad de agua suelta como en el Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado, presentó una menor cantidad de poros capilares, lo que favorecería para que tenga una mejor resistencia que este último tratamiento. Además, al no tener una cantidad significativa de MMF no habría comprometido mucho su resistencia a la compresión a diferencia del Concreto elaborado con Agregado Global Sin Lavado.

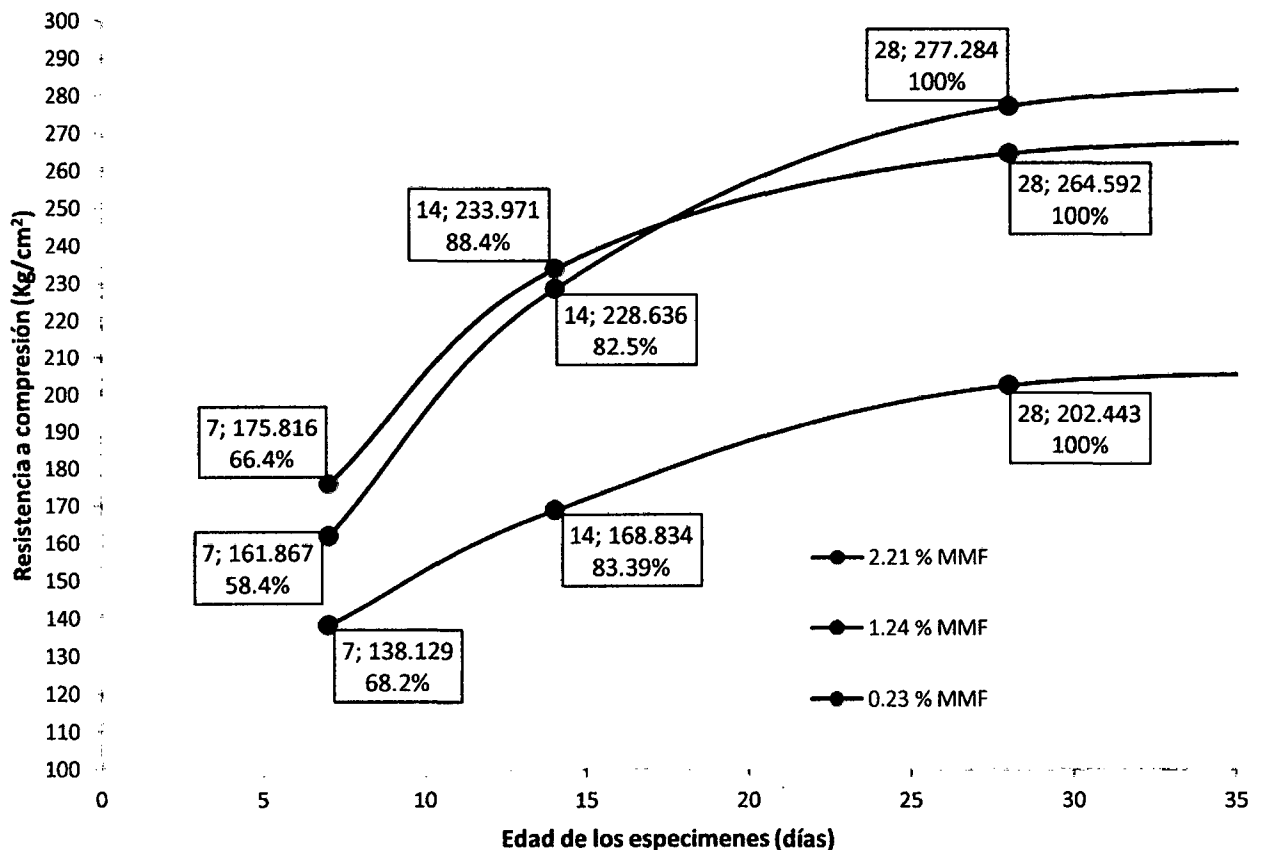
El concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF), presentó una resistencia a compresión final a la edad de 28 días de 264.6 Kg/cm², siendo este resultado mayor que el f_c y el f'_{cr} , siendo mayor en 23.5% que el promedio de resistencia del Concreto elaborado con Agregado Global Sin Lavado y en 4.8% menor que el promedio de resistencia del Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF), esto pudo ocurrir debido a que al tener una consistencia

casi fluida, presentó más agua de mezcla suelta que el Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado que tuvo una consistencia plástica, presentando mayor cantidad de poros capilares. Si la consistencia en estado no endurecido de estos dos tratamientos hubiera sido la misma (lo que implicaría a disminuir el agua de mezclado sin modificar la cantidad de cemento), se deduce que el Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado, obtuviera la mayor resistencia promedio, por tener menor cantidad de MMF que favorecería al desempeño de su resistencia.

4.4. Análisis del Desarrollo de la resistencia del concreto

Gráfico 4.4

Resistencia promedio vs Edad, Por Tratamiento de concreto con diferentes %MMF



En el *Gráfico 4.4* podemos observar que a la edad de 7 días, el promedio más alto de resistencia a compresión fue del Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF), esto pudo ocurrir a causa de que el modo de falla que mayormente se tuvo en los especímenes a esa edad fue por desprendimiento de la pasta del agregado y este tratamiento fue el que menos presentó este modo de falla ya que el MMF que se encontraba como revestimiento del agregado fue mínima. El Concreto elaborado con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF) tuvo una resistencia intermedia a los otros dos tratamientos siendo 13% menos que el Concreto Agregado Global Bien Lavado, pues presentó mayormente un modo de falla por desprendimiento de la pasta y el agregado. Y, el promedio más bajo de resistencia a compresión fue del Concreto elaborado con Agregado Global Sin Lavado (2.21% MMF), que presentó un modo de falla de la pasta de cemento y por desprendimiento de esta y el agregado, esto a causa de que tuvo la cantidad más alta de MMF.

A la edad de 14 días, el promedio más alto de resistencia a compresión continuó siendo del Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF), esto pudo ocurrir a causa de que el modo de falla que mayormente se encontró en los especímenes a esa edad fue por desprendimiento de la pasta del agregado y este tratamiento fue el que menos presentó este modo de falla. El Concreto elaborado con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF) tuvo una resistencia que aumento respecto a la relación que había tenido a la edad de 7 días respecto al Concreto Agregado Global Bien Lavado siendo solamente 2.4% menos que este tratamiento, debido a que presentó una menor apariencia de falla por desprendimiento de la pasta y el agregado que había tenido a la edad de 7 días. Y el promedio más bajo de resistencia a compresión continuó siendo el Concreto elaborado con Agregado Global Sin Lavado (2.21% MMF), que presentó un modo de falla por desprendimiento de la pasta de cemento y el agregado, esto a causa de que tuvo la cantidad más alta de MMF.

A la edad de 28 días, el promedio más alto de resistencia a compresión cambió al Concreto elaborado con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF), siendo mayor en 27.0 % que el promedio de resistencia del Concreto elaborado con

Agregado Global Sin Lavado (2.21% MMF) y en 4.6% que el promedio de resistencia del Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF) como se indicó las causas de esto en el ítem 4.3.4.

El desarrollo de la resistencia a compresión del Concreto elaborado con Agregado Global Sin Lavado (2.21% MMF) fue de 68.2% a los 7 días y aumentó a 83.4% a los 14 días de edad, siendo así el tratamiento que tuvo menor desarrollo de su resistencia, esto pudo ocurrir a causa de su mayor cantidad de MMF que no favorece a la resistencia como se explicó en los ítems anteriores.

El desarrollo de la resistencia a compresión del Concreto elaborado con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF) fue de 58.4% a los 7 días y aumentó a 82.5% a los 14 días de edad, siendo así el tratamiento que tuvo mayor desarrollo de su resistencia, esto pudo ocurrir a causa de que como se observó, este falló mayormente por desprendimiento en los ensayos a la edad de 7 días, luego esta característica disminuyó en los ensayos a la edad de 14 días y en los ensayos a compresión a la edad de 28 días presentó una falla combinada del agregado y la pasta, presentando un mínimo desprendimiento de estos materiales. Esto, pudo ocurrir debido a que a edades tempranas de ensayo como a los 7 y 14 días, los especímenes muestran mayormente un modo de falla por desprendimiento a causa de que aún no se ha desarrollado casi totalmente la atracción física entre la pasta y el agregado, ya que el entramado mecánico se va haciendo más denso conforme más se hidrata el cemento, y a los 28 días se considera que la hidratación de la pasta se ha terminado casi totalmente. [Solano, J. 2011]. Así mismo presentó una consistencia plástica en estado no endurecido, lo cual habría favorecido a tener menos cantidad de poros capilares que favorecería a aumentar la resistencia a diferencia del tratamiento con Concreto con Agregado Global Bien lavado que presento una consistencia casi fluida.

El desarrollo de la resistencia a compresión del Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF) fue de 66.4% a los 7 días y aumentó a 88.4% a los 14 días de edad, este desarrollo menor al Concreto elaborado con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF), pudo ocurrir a causa de que al presentar una

cantidad de MMF mínima, la falla por desprendimiento de pasta y agregado fue menor que en los otros tratamientos, teniendo un desarrollo de resistencia normal, pero no mayor al Concreto elaborado con Agregado Global Medio Lavado, ya que éste tuvo menor cantidad de poros capilares debido a su consistencia plástica en estado no endurecido.

4.5. Análisis del Módulo de elasticidad del Concreto.

Como se explicó en el ítem 3.9.5, para calcular el módulo de elasticidad del concreto, se utilizó la fórmula 2.1 propuesta por el ACI, Obteniendo así los datos de las siguientes tablas:

Tabla 4.14
Módulo de Elasticidad de los especímenes cilíndricos elaborados con el Concreto con Agregado Global Sin Lavado (2.21%MMF) a la edad de 28 días.

Especímen	Peso Unitario (Kg/m ³)	f _c a los 28 días (Kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)
SL-15	2330.815	189.163	216674.52
SL-16	2327.336	236.083	241517.73
SL-17	2305.882	199.684	219056.07
SL-18	2317.002	183.254	211370.5
SL-19	2320.095	225.523	234953.6
SL-20	2310.897	171.18	203481.73
SL-21	2309.258	212.215	226320.95
Promedio:			221910.73

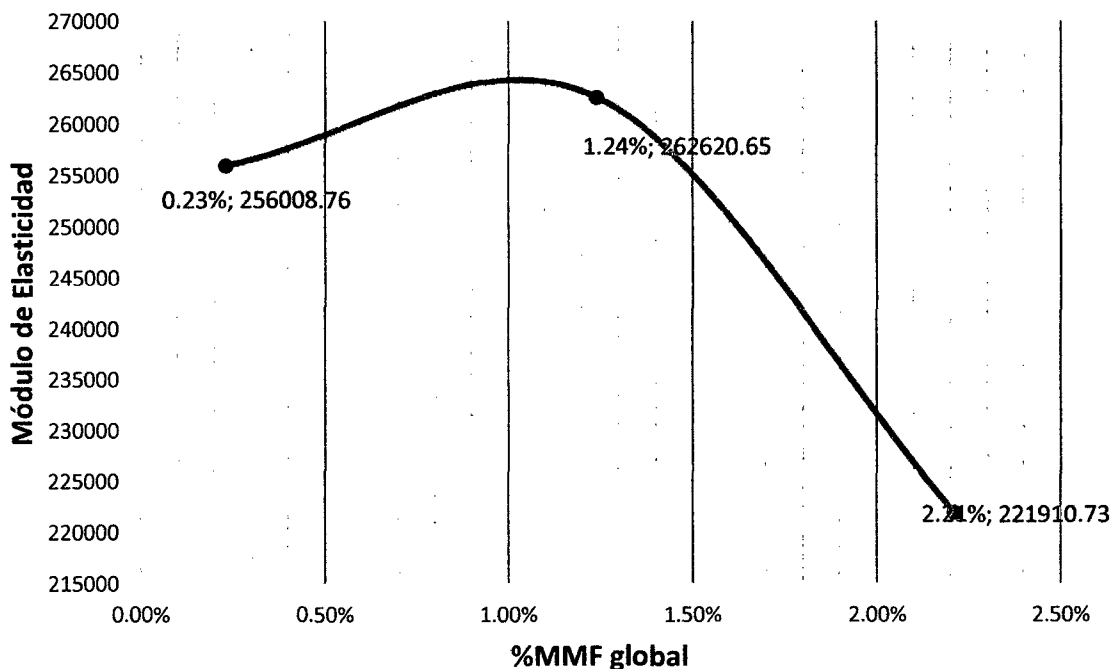
Tabla 4.15
Módulo de Elasticidad de los especímenes cilíndricos elaborados con el Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF) a la edad de 28 días.

Especímen	Peso Unitario (Kg/m ³)	f _c a los 28 días (Kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)
ML-15	2347.818	258.813	256222.77
ML-16	2339.568	252.763	251876.87
ML-17	2333.606	282.73	265372.11
ML-18	2334.707	304.525	275605.63
ML-19	2329.656	299.916	272624.92
ML-20	2314.337	272.748	257423.81
ML-21	2334.41	269.491	259218.43
Promedio:			262620.65

Tabla 4.16
Módulo de Elasticidad de los especímenes cilíndricos elaborados con el Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF) a la edad de 28 días.

Espécimen	Peso Unitario (Kg/m ³)	f _c a los 28 días (Kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)
BL-15	2329.805	259.725	253725.59
BL-16	2326.346	264.485	255470.07
BL-17	2334.734	278.663	263647.59
BL-18	2333.739	259.279	254150.01
BL-19	2338.599	272.926	261567.71
BL-20	2334.612	256.603	252976.96
BL-21	2307.98	260.462	250523.39
Promedio:			256008.76

Gráfico 4.5
Módulo de Elasticidad vs %MMF global



En el *Gráfico 4.5* podemos observar que el Concreto elaborado con Agregado Global Sin Lavado (2.21% MMF) presentó el menor promedio de módulo de elasticidad a la edad de 28 días de 221910.73 Kg/cm², ya que obtuvo el menor valor de resistencia a compresión y también el menor valor de peso unitario como se explicó en los anteriores ítems.

El concreto elaborado con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF) presentó el mayor promedio de módulo de elasticidad a la edad de 28 días de 262620.65 Kg/cm², esto se debe a que obtuvo los mayores valores de resistencia a compresión y de peso unitario.

El concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF), presentó el mayor promedio de módulo de elasticidad a la edad de 28 días de 256008.76 Kg/cm².

4.6. Análisis Estadístico de datos de las Variables de evaluación

4.6.1. Análisis Estadístico de datos del Asentamiento

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de la variable de asentamiento de la *Tabla 4.1*. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Los resultados se presentan en las siguientes tablas y gráficos:

Tabla 4.17
Datos ANOVA unidireccional: Asentamiento (cm) vs. Tratamiento

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	2	44.667	22.333	73.09	0.000**
Error	6	1.833	0.306		
Total	8	46.500			

*: Con significación estadística en el ANOVA ($0.01 < P < 0.05$); **: con alta significación estadística en el ANOVA ($P < 0.01$); ns: sin diferencia estadística en el ANOVA ($P > 0.05$); GL (Grados de Libertad); SC (Suma de cuadrado); CM (Cuadrado Medio), F (F calculado)

Tabla 4.18
Agrupación de información utilizando el método de Tukey (Asentamiento)

Tratamiento	Número de Repeticiones	Media	Desv. Est.	Agrupación(*)
C-BL(0.23%MMF)	3	11.3333	0.577	A
C-ML(1.24%MMF)	3	7.6667	0.577	B
C-SL(2.21%MMF)	3	6.0000	0.500	C
Desv. Est. agrupada = 0.553				

(*)Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
 Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
 Nivel de confianza individual = 97.80%

Gráfico 4.6
Valores individuales de Asentamiento (cm) vs. Tratamiento de concreto

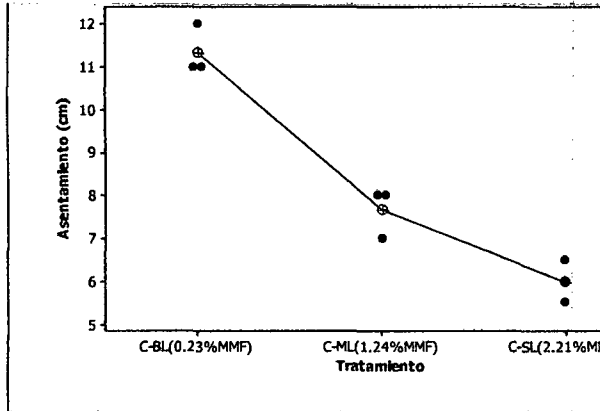
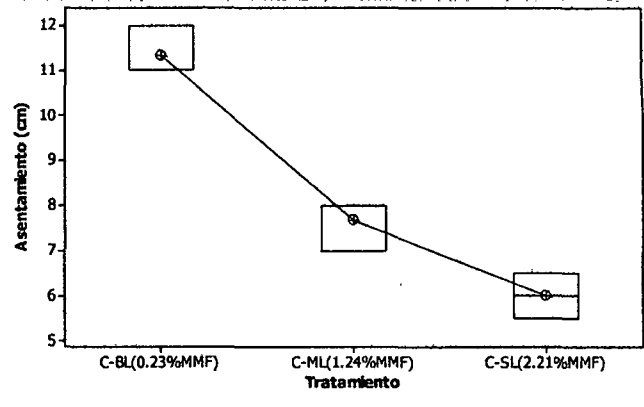


Gráfico 4.7
Gráfica de caja de Asentamiento (cm)



En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA) se observa que para la fuente de variabilidad de los tratamientos hubo alta significación estadística, lo que significa que hubo alta diferencia estadística entre los promedios de asentamientos de los tratamientos. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los datos de asentamiento de los 3 tratamientos son estadísticamente diferentes entre sí.

4.6.2. Análisis Estadístico de datos del peso Unitario

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de la variable de peso unitario de las Tablas 4.2, 4.3, 4.4. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Los resultados se presentan en las siguientes tablas y gráficos:

Tabla 4.19
ANOVA unidireccional: Peso Unitario (Kg/m3) vs. Tratamiento

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	2	984.4	492.2	4.98	0.019*
Error	18	1780.8	98.9		
Total	20	2765.2			

*: Con significación estadística en el ANOVA ($0.01 < P < 0.05$); **: con alta significación estadística en el ANOVA ($P < 0.01$); ns: sin diferencia estadística en el ANOVA ($P > 0.05$) GL(Grados de Libertad), SC(Suma de cuadrados), CM(Cuadrado Medio), F(F calculado)

Tabla 4.20
Agrupación de información utilizando el método de Tukey (Peso unitario)

Tratamiento	Número de Repeticiones	Media (Kg/m ³)	Desv. Est.	Agrupación(*)
C-BL(0.23%MMF)	7	2329.40	10.23	A B
C-ML(1.24%MMF)	7	2329.402	10.22	A
C-SL(2.21%MMF)	7	2317.326	9.37	B
Desv. Est. agrupada = 9.95				

(*)Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
 Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
 Nivel de confianza individual = 98.00%

Gráfico 4.8
Valores individuales de Peso Unitario (Kg/m³) vs. Tratamiento de concreto

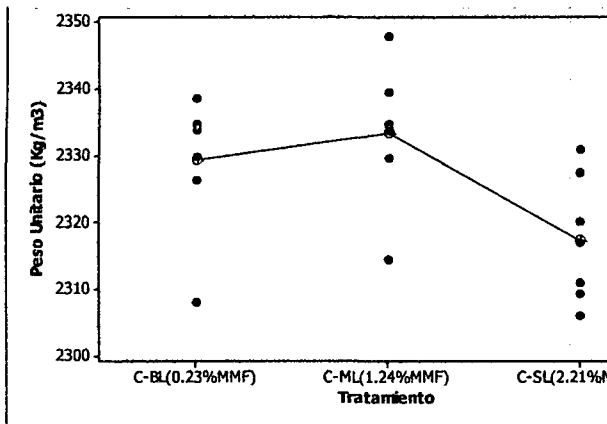
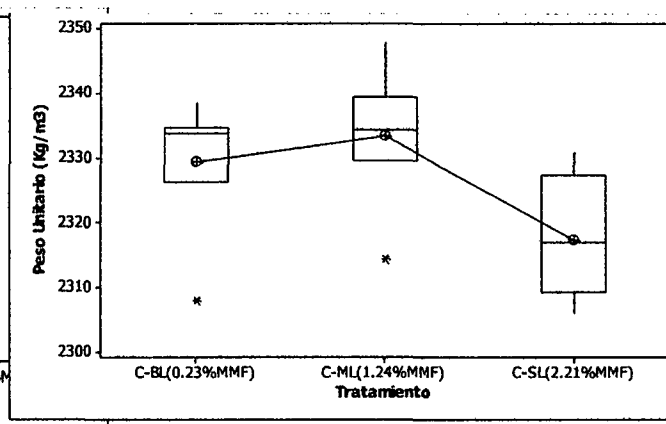


Gráfico 4.9
Gráfica de caja de Peso Unitario (Kg/m³)



En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA) se observa que para la fuente de variabilidad de los tratamientos hubo significación estadística, lo que significa que hubo diferencia estadística entre los promedios peso unitario de los tratamientos. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los promedios de peso unitario del Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF) y del Concreto elaborado con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF) son estadísticamente iguales. Los promedios de peso unitario del Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF) y del Concreto elaborado con Agregado Global Sin Lavado (2.21% MMF) también son estadísticamente iguales. Y los promedios de peso unitario del Concreto elaborado con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF) y el Concreto elaborado con Agregado Global Sin Lavado (2.21% MMF) son estadísticamente diferentes.

4.6.3. Análisis Estadístico de resistencia a compresión.

4.6.3.1. Análisis Estadístico de resistencia a compresión a la edad de 7 días.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de la variable de resistencia a la compresión a la edad de 7 días de las *Tablas 4.5, 4.6, 4.7*. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Los resultados se presentan en las siguientes tablas y gráficos:

Tabla 4.21
ANOVA: Resistencia a compresión a los 7 días vs. Tratamiento

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	2	4777.6	2388.8	28.82	0.000**
Error	16	1326.3	82.9		
Total	28	6103.9			

*: Con significación estadística en el ANOVA ($0.01 < P < 0.05$); **: con alta significación estadística en el ANOVA ($P < 0.01$); ns: sin diferencia estadística en el ANOVA ($P > 0.05$) GL(Grados de Libertad), SC(Suma de cuadrados), CM(Cuadrado Medio), F(F calculado)

Tabla 4.22
Agrupación de información utilizando el método de Tukey (resistencia a compresión a la edad de 7 días)

Tratamiento	Número de Repeticiones	Media (Kg/m ²)	Desv. Est. (Kg/m ²)	Agrupación(*)
C-BL(0.23%MMF)	7	175.82	10.82	A
C-ML(1.24%MMF)	6	162.31	5.84	A
C-SL(2.21%MMF)	6	138.13	9.75	B
Desv. Est. agrupada = 9.10				

(*)Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Nivel de confianza individual = 98.00%

Gráfico 4.10
Valores individuales de Resistencia a compresión a los 7 días vs. Tratamiento de concreto

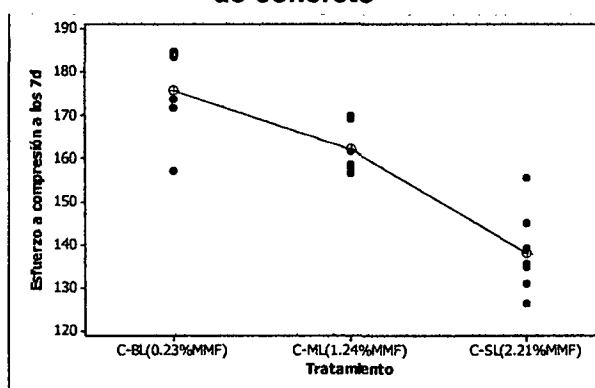
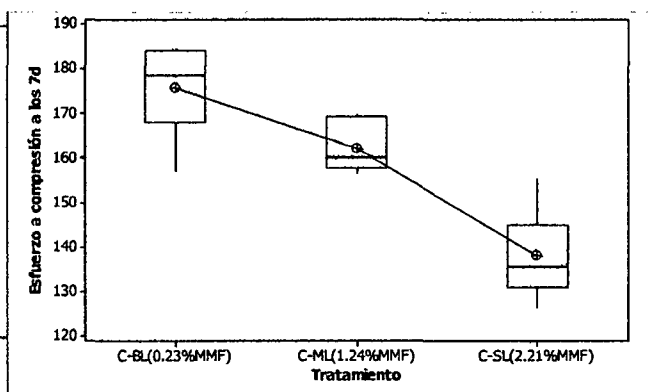


Gráfico 4.11
Caja de Resistencia a compresión a los 7 días



En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA) se observa que para la fuente de variabilidad de los tratamientos hubo significación estadística, lo que significa que hubo diferencia estadística entre los promedios de resistencia a compresión de los tratamientos. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los promedios del Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF) y del Concreto elaborado con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF) son estadísticamente iguales. Pero, estos dos promedios son diferentes estadísticamente al promedio del Concreto elaborado con Agregado Global Sin Lavado (2.21% MMF).

4.6.3.2. Análisis Estadístico de resistencia a compresión a la edad de 14 días.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de la variable de resistencia a la compresión a la edad de 14 días de las *Tablas 4.8, 4.9, 4.10*. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Los resultados se presentan en las siguientes tablas y gráficos:

Tabla 4.23
ANOVA: Resistencia a compresión a los 14 días vs. Tratamiento

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	2	21193	10596	43.56	0.000**
Error	16	4379	243		
Total	28	25572			

*: Con significación estadística en el ANOVA ($0.01 < P < 0.05$); **: con alta significación estadística en el ANOVA ($P < 0.01$); ns: sin diferencia estadística en el ANOVA ($P > 0.05$) GL(Grados de Libertad), SC(Suma de cuadrados), CM(Cuadrado Medio), F(F calculado)

Tabla 4.24
Agrupación de información utilizando el método de Tukey (resistencia a compresión a la edad de 14 días)

Tratamiento	Número de Repeticiones	Media (Kg/m ²)	Desv. Est. (Kg/m ²)	Agrupación(*)
C-BL(0.23%MMF)	7	233.97	11.15	A
C-ML(1.24%MMF)	7	228.64	12.21	A
C-SL(2.21%MMF)	7	164.07	21.36	B
Desv. Est. agrupada = 15.60				

(*)Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Nivel de confianza individual = 98.00%

Gráfico 4.12
Valores individuales de Resistencia a compresión a los 14 días vs. Tratamiento de concreto

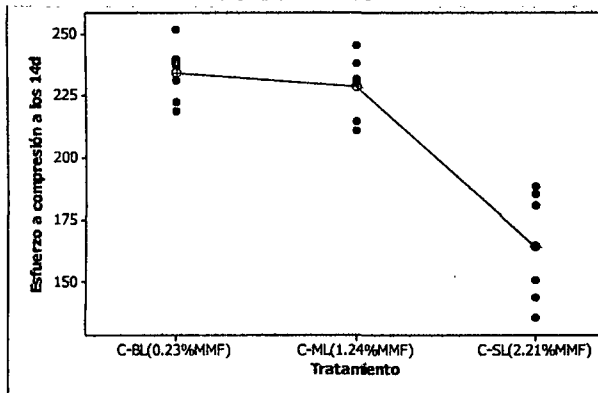
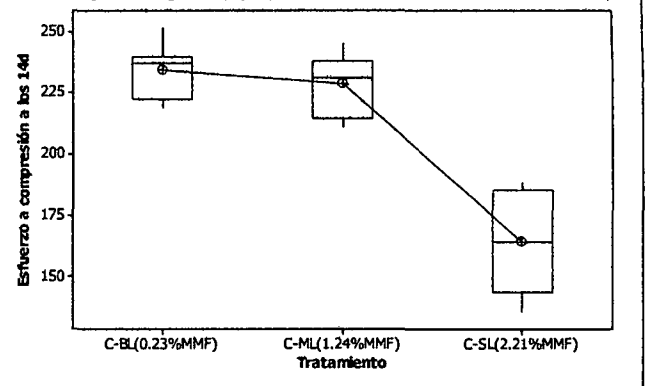


Gráfico 4.13
Caja de Resistencia a compresión a los 14 días



En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA) se observa que para la fuente de variabilidad de los tratamientos de estudio hubo significación estadística, lo que significa que hubo diferencia estadística entre los promedios de resistencia a compresión a la edad de 14 días de los tratamientos. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los Promedios del Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF) y del Concreto elaborado con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF) son estadísticamente iguales, siendo estos dos promedios diferentes estadísticamente con el promedio del Concreto elaborado con Agregado Global Sin Lavado (2.21% MMF).

4.6.3.3. Análisis Estadístico de resistencia a compresión a la edad de 28 días.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de resistencia a la compresión a la edad de 28 días de las *Tablas 4.11, 4.12, 4.13*. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Los resultados se presentan en las siguientes tablas y gráficos:

Tabla 4.25
ANOVA: Resistencia a compresión a los 28 días vs. Tratamiento

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	2	22458	11229	33.70	0.000**
Error	18	5997	333		
Total	20	28455			

*: Con significación estadística en el ANOVA ($0.01 < P < 0.05$); **: con alta significación estadística en el ANOVA ($P < 0.01$); ns: sin diferencia estadística en el ANOVA ($P > 0.05$) GL(Grados de Libertad), SC(Suma de cuadrados), CM(Cuadrado Medio), F(F calculado)

Tabla 4.26
Agrupación de información utilizando el método de Tukey (resistencia a compresión a la edad de 28 días.)

Tratamiento	Número de Repeticiones	Media (Kg/m ²)	Desv. Est. (Kg/m ²)	Agrupación(*)
C-BL(0.23%MMF)	7	264.59	8.17	A
C-ML(1.24%MMF)	7	277.28	19.61	A
C-SL(2.21%MMF)	7	202.44	23.41	B
Desv. Est. agrupada = 18.25				

(*)Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
 Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
 Nivel de confianza individual = 98.00%

Gráfico 4.14
Valores individuales de Resistencia a compresión a los 28 días vs. Tratamiento de concreto

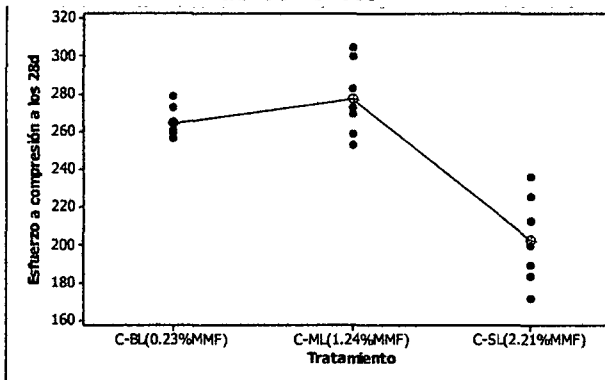
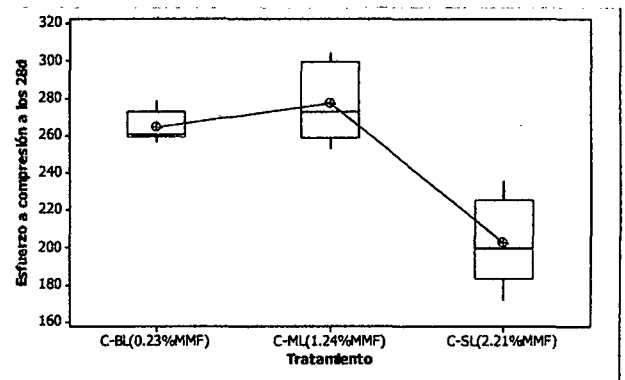


Gráfico 4.15
Caja de Resistencia a compresión a los 28 días



En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA) se observa que para la fuente de variabilidad de los tratamientos de estudio hubo significación estadística, lo que significa que hubo diferencia estadística entre los promedios de los datos de resistencia a compresión a la edad de 28 días de los tratamientos. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los promedios del Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF) y del Concreto elaborado con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF) son estadísticamente iguales, siendo estos dos promedios diferentes estadísticamente con el promedio del Concreto elaborado con Agregado Global Sin Lavado (2.21% MMF).

4.6.3.4. Análisis de uniformidad del concreto en resistencia a compresión final.

Según la *tabla 3.5*, los estándares de control del concreto en resistencia a compresión a la edad de 28 días, según la desviación estándar de cada tratamiento de concreto expuestos en el ítem anterior serían los que se observan en la *tabla 4.27*.

Gráfico 4.16
Desviación Estándar vs %MMF global

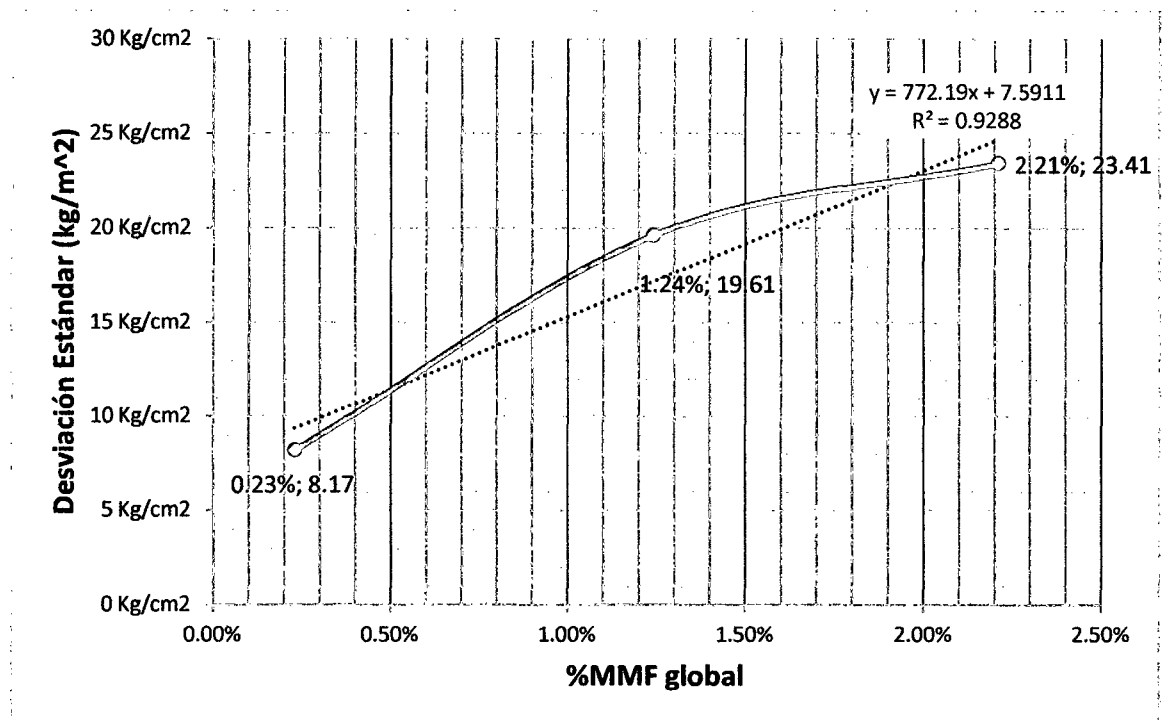


Tabla 4.27
Estándares de control del concreto en resistencia a compresión a la edad de 28 días

Tratamiento	Desviación Estándar (Kg/m²)	Estándar de control
C-BL(0.23%MMF)	8.17	Excelente
C-ML(1.24%MMF)	19.61	Bueno
C-SL(2.21%MMF)	23.41	Regular
Desviación Estándar agrupada = 18.25 Kg/m²		Bueno

Estos resultados indicarían el grado de cuidado con los que se ha realizado el experimento, el cual se podría calificar como bueno según la Desviación Estándar

agrupada. Así mismo también indicarían el grado de uniformidad de cada tratamiento de concreto, el cual se relacionaría con cantidad de MMF que tienen sus agregados. Así el concreto elaborado con Agregado Global Sin Lavado (2.21% MMF) sería el menos uniforme con una desviación estándar de 23.41 Kg/m² con un estándar de control regular, ya que el MMF del agregado estaría disperso en forma natural, y mientras más haya sido lavado el agregado el MMF estaría disperso más uniforme. Por lo que el Concreto elaborado con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF) con una desviación estándar de 19.61 Kg/m² presentó un estándar bueno y el Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF) con una desviación estándar de 8.17 Kg/m² presentó un estándar excelente

4.6.4. Análisis Estadístico de Módulo de Elasticidad.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de módulos de elasticidad de las *Tablas 4.14, 4.15, 4.16*. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Los resultados se presentan en las siguientes tablas y gráficos:

Tabla 4.28
ANOVA unidireccional: Módulo de Elasticidad (28 días) vs. Tratamiento

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	2	6681944276	3340972138	36.03	0.000**
Error	18	1668994744	92721930		
Total	20	8350939020			

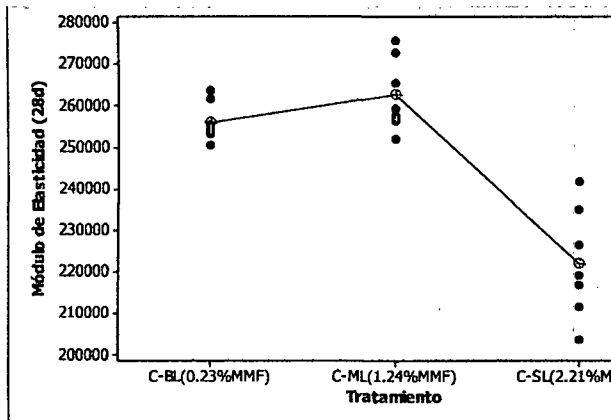
*: Con significación estadística en el ANOVA (0.01<P<0.05); **: con alta significación estadística en el ANOVA (P<0.01); ns: sin diferencia estadística en el ANOVA (P>0.05) GL(Grados de Libertad), SC(Suma de cuadrados), CM(Cuadrado Medio), F(F calculado)

Tabla 4.29
Agrupación de información utilizando el método de Tukey (Módulo de elasticidad)

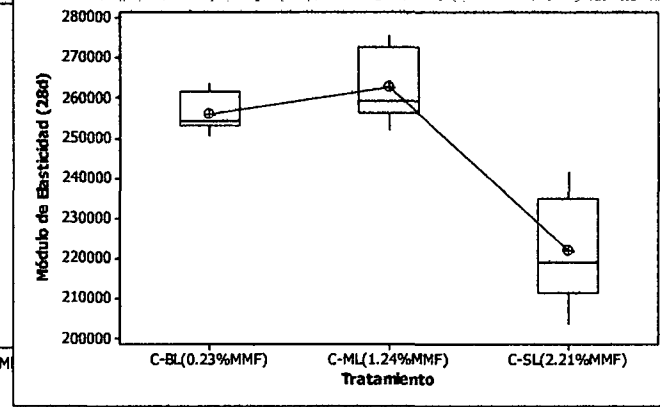
Tratamiento	Número de Repeticiones	Media (Kg/m ²)	Desv. Est.	Agrupación(*)
C-BL(0.23%MMF)	7	256009	4787	A
C-ML(1.24%MMF)	7	262621	8862	A
C-SL(2.21%MMF)	7	221911	13293	B
Desv. Est. agrupada = 9629				

(*)Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Nivel de confianza individual = 98.00%

Gráfica 4.17
Valores individuales de Módulo de Elasticidad (28 días) vs. Tratamiento de concreto



Gráfica 4.18
Caja de Módulo de Elasticidad (28 días)



En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA) se observa que para la fuente de variabilidad de los tratamientos hubo significación estadística, lo que significa que hubo diferencia estadística entre los promedios de los datos de módulo de elasticidad de los tratamientos. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los promedios del Concreto elaborado con Agregado Global Bien Lavado (0.23% MMF) y del Concreto elaborado con Agregado Global Medio Lavado (1.24% MMF) son estadísticamente iguales, siendo estos dos promedios diferentes estadísticamente con el promedio de moduló de elasticidad del Concreto elaborado con Agregado Global Sin Lavado (2.21% MMF).

4.7. Análisis del Costo de la elaboración de concreto por metro cúbico.

4.7.1. Costo de la elaboración de un metro cúbico de Concreto con Agregado Global Sin Lavado (2.21%MMF)

Como la elaboración de este concreto no implica ningún tratamiento adicional como el lavado de agregados que se realizó para los otros tratamientos, su costo sería solamente el de la partida de elaboración de concreto con la dosificación calculada.

El rendimiento de mano de obra y de Equipo se tomó de lo indicado por CAPECO para un concreto de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, los costos de mano de obra se tomó de los costos hora –hombre en edificación según la normativa vigente en el Perú.

Tabla 4.30
Análisis de Costos unitarios de la partida de concreto f'c = 210 kg/cm²

PARTIDA: CONCRETO f'c = 210 Kg/cm²					
Rendimiento M.O:	10 m³/Dia	Rendimiento EQ:	10 m³/Dia		
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/. (Incluido IGV)	Parcial S/.
Mano de Obra					
OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	6.08	9.72
OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	5.20	8.32
PEON	hh	10.0000	8.0000	4.65	37.20
					55.24
Materiales					
AGREGADO GRUESO	m ³		0.6500	70.00	45.50
AGREGADO FINO	m ³		0.6200	70.00	43.40
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	BOL		6.6700	23.00	153.41
AGUA	m ³		0.1830	5.30	0.97
					243.28
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	55.24	1.66
MEZCLADORA CONCRETO TAMBOR 11 P3-18 HP	hm	1.0000	0.8000	12.50	10.00
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2"	hm	1.0000	0.8000	12.50	10.00
					24.45
Costo unitario directo por m³ (S/.):					320.18

- Costo de la elaboración de un m³ de Concreto con Agregado Global Sin Lavar (2.21 % MMF): S/. 320.18

4.7.2. Costo de la elaboración de un metro cúbico de Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF)

Para la elaboración de este concreto, implica además de la partida de elaboración de concreto, la preparación del Agregado Fino Medio Lavado y El Agregado Grueso Medio lavado, por lo que es necesario agregar el costo de estas últimas partidas al costo de la partida vista en la *Tabla 4.30*.

Para el agua de lavado y rendimiento de mano de obra en estas partidas de lavado del agregado se consideró el tiempo, cantidad de mano de obra y agua de lavado que se utilizó para los procedimientos que se describieron en el *ítem 3.2*.

Tabla 4.31
Análisis de Costos unitarios de la partida de preparación de agregado fino medio lavado

PARTIDA: PREPARACIÓN DE AGREGADO FINO MEDIO LAVADO					
Rendimiento M.O:		1.5 m3/Día			
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/. (Incluido IGV)	Parcial S/.
Mano de Obra					
PEON	hh	1.0000	5.3333	4.65	24.80
					24.80
Materiales					
AGUA	m3		1.8600	5.30	9.86
					9.86
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	24.80	0.74
					0.74
Costo unitario directo por m3 (S/.):					35.40
AFECTADO POR EL VOLUMEN DE AGREGADO FINO					
Partida	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial S/.	
PREPARACIÓN DE AGREGADO FINO MEDIO LAVADO	m3	0.6200	35.40	21.95	

Tabla 4.32
Análisis de Costos unitarios de la partida de preparación de agregado grueso medio lavado

PARTIDA: PREPARACIÓN DE AGREGADO GRUESO MEDIO LAVADO					
Rendimiento M.O:		3.0 m3/Día			
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/. (Incluido IGV)	Parcial S/.
Mano de Obra					
PEON	hh	1.0000	2.6667	4.65	12.40
					12.40
Materiales					
AGUA	m3		1.3000	5.30	6.89
					6.89
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	12.40	0.37
					0.37
Costo unitario directo por m3 (S/.):					19.66
AFECTADO POR EL VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO					
Partida	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial S/.	
PREPARACIÓN DE AGREGADO GRUESO MEDIO LAVADO	m3	0.6500	19.66	12.78	

$$\begin{aligned} & \text{Costo de la elaboración de un m}^3 \text{ de Concreto con} \\ & \text{Agregado Global Medio Lavado (1.24 \% MMF): } S/. 320.18 + S/. 21.95 + S/. 12.78 \\ & = S/. 354.91 \end{aligned}$$

4.7.3. Costo de la elaboración de un metro cúbico de Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF)

Para la elaboración de este concreto, implica además de la partida de elaboración de concreto, la preparación del Agregado Fino Bien Lavado y El Agregado Grueso Bien lavado, por lo que es necesario agregar el costo de estas últimas partidas al costo de la partida vista en la *Tabla 4.30*.

Para el agua de lavado y rendimiento de mano de obra en estas partidas de lavado del agregado se consideró el tiempo, cantidad de mano de obra y agua de lavado que se utilizó para los procedimientos que se describieron en el *Ítem 3.2*.

Tabla 4.33
Análisis de Costos unitarios de la partida de preparación de agregado fino bien lavado

PARTIDA: PREPARACIÓN DE AGREGADO FINO BIEN LAVADO					
Rendimiento M.O:		0.5 m3/Día			
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/. (Incluido IGV)	Parcial S/.
Mano de Obra					
PEON	hh	1.0000	16.0000	4.65	74.40
					74.40
Materiales					
AGUA	m3		5.5800	5.30	29.57
					29.57
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	74.40	2.23
					2.23
Costo unitario directo por m3 (S/.):					106.21
AFECTADO POR EL VOLUMEN DE AGREGADO FINO					
Partida	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial S/.	
PREPARACIÓN DE AGREGADO FINO BIEN LAVADO	m3	0.6200	106.21	65.85	

Tabla 4.34
Análisis de Costos unitarios de la partida de preparación de agregado grueso bien lavado

PARTIDA: PREPARACIÓN DE AGREGADO GRUESO BIEN LAVADO					
Rendimiento M.O:	1.5 m3/Dia				
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/. (Incluido IGV)	Parcial S/.
Mano de Obra					
PEON	hh	1.0000	5.3333	12.52	66.77
					66.77
Materiales					
AGUA	m3		3.2500	5.30	17.23
					17.23
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	66.77	2.00
					2.00
Costo unitario directo por m3 (S/.):					86.00
AFFECTADO POR EL VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO					
Partida	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial S/.	
PREPARACIÓN DE AGREGADO GRUESO MEDIO LAVADO	m3	0.6500	86.00	55.9	

Costo de la elaboración de un m3 de Concreto con Agregado Global Bien Lavado (1.24 % MMF): $S/.320.18 + S/.65.85 + S/.55.9 = S/.441.93$

Tabla 4.35
Cuadro Resumen de los costos de Concreto por m³ según tratamiento

Tratamiento	Resistencia Final a la compresión	Costo unitario por m³
Concreto con Agregado Global Sin Lavado (2.21%MMF)	202.44 Kg/cm²	S/.320.18
Concreto con Agregado Global Medio Lavado (1.24%MMF)	277.28 Kg/cm²	S/.354.91
Concreto con Agregado Global Bien Lavado (0.23%MMF)	264.59 Kg/cm²	S/.441.93

Capítulo

V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Conclusiones

9.1.1. La disminución de MMF mejoró la resistencia a compresión final de los concretos elaborados con la misma proporción de materiales en peso de 1:3.29:3.50/27.23 lts/bolsa. El Concreto con Agregado Global con 2.21% MMF (con promedio de 202.44 Kg/cm²) fue estadísticamente menor que los otros dos concretos; observándose que el Concreto con Agregado Global con 1.24% MMF (con promedio de 277.28 Kg/cm²) mostró su superioridad en un 27.0%; mientras que el Agregado Global con 0.23% MMF (con promedio de 264.6 Kg/cm²) lo hizo en un 23.5%. De otro lado, se observó igualdad estadística para los concretos con Agregado Global con 1.24% y 0.23% de MMF.

9.1.2. La disminución de MMF aumentó la fluidez de la consistencia del concreto en estado no endurecido. Así, el concreto con Agregado Global con 2.21% MMF presentó un asentamiento promedio de 5.8 cm teniendo una consistencia entre plástica y seca; el concreto con Agregado Global con 1.24% MMF presentó un asentamiento promedio de 7.7 cm teniendo una consistencia plástica; y, el concreto con Agregado Global con 0.23% MMF presentó un asentamiento

promedio de 11.3 cm teniendo una consistencia entre plástica y fluida. Cabe señalar que estos promedios fueron estadísticamente diferentes.

- 9.1.3. Los resultados de peso unitario de los concretos se relacionaron con la consistencia que presentaron éstos en estado no endurecido. El Concreto con Agregado Global con 2.21% MMF (con Peso Unitario promedio de 2317.33 Kg/m³) fue estadísticamente menor que el Concreto con Agregado Global con 1.24% MMF (con promedio de 2333.44 Kg/m³); el que a su vez fue estadísticamente igual al Concreto con Agregado Global con 0.23% MMF (con promedio de 2329.40 Kg/m³).
- 9.1.4. La disminución de MMF mejoró el desarrollo de la resistencia a compresión. El desarrollo de resistencia del Concreto con Agregado Global con 2.21% MMF fue de 68.2% a los 7 días y aumentó a 83.4% a los 14 días de edad, siendo éste el tratamiento que presentó menor desarrollo de su resistencia. De otro lado, el Concreto con Agregado Global con 1.24% MMF tuvo un desarrollo de 58.4% a los 7 días y aumentó a 82.5% a los 14 días de edad, siendo así el tratamiento que presentó mayor desarrollo de su resistencia. El Concreto con Agregado con 0.23% MMF tuvo un desarrollo de 66.4% a los 7 días y aumentó a 88.4% a los 14 días de edad.
- 9.1.5. La disminución de MMF mejoró la adherencia de la pasta de cemento y los agregados. A la evaluación a los 28 días, el concreto con Agregado Global con 2.21% MMF presentó en los ensayos de resistencia a compresión fracturas progresivas y falló por desprendimiento de la pasta del cemento y el agregado; mientras, que los concretos con Agregado Global con 1.24% MMF y con 0.23% MMF presentaron fracturas precipitadas y fallaron tanto la pasta de cemento como el agregado.
- 9.1.6. El Módulo de Elasticidad mejoró con la disminución de MMF. El Concreto con Agregado Global con 2.21% MMF (con promedio de 221910.73 Kg/cm²) fue estadísticamente menor que los otros dos concretos; el concreto con Agregado

Global con 1.24% MMF (con promedio de 262620.65 Kg/cm²), fue estadísticamente igual que el Concreto con Agregado Global con 0.23% MMF (con promedio de 256008.76 Kg/cm²).

- 9.1.7.** El costo del concreto se incrementó mientras se disminuyó el MMF. El Concreto con Agregado Global con 2.21% MMF tuvo un costo por m³ de S/. 320.18, que fue S/.34.72 menos que el Concreto con Agregado Global con 1.24% MMF y S/.121.75 menos que el Concreto con Agregado Global con 0.23% MMF; sin embargo, este último no se considera recomendable para ser utilizado en la construcción, por la excesiva cantidad de recursos que se emplea para elaborarlo.
- 9.1.8.** La disminución de MMF aumentó la uniformidad de la resistencia a compresión del concreto. Así, el concreto elaborado con Agregado Global con 2.21% MMF (con una desviación estándar de 23.41 Kg/cm²) sería el menos uniforme con un estándar de control regular (según los estándares de control de la ACI 214 – 77); el Concreto con Agregado Global con 1.24% MMF (con una desviación estándar de 19.61 Kg/cm²), presentó un estándar bueno y el Concreto con Agregado Global con 0.23% MMF (con una desviación estándar de 8.17 Kg/cm²) tuvo un estándar excelente.
- 9.1.9.** El Concreto con Agregado Global con 2.21% MMF cumple con lo indicado en las Normas peruanas en lo referente a cantidad permisible de MMF (con agregado fino con 3.62%MMF y agregado grueso con 0.93%MMF) pero presentó resultados desfavorables significativos respecto al Concreto con Agregado Global con 1.24% MMF (con agregado fino con 1.97%MMF y agregado grueso con 0.56%MMF); por lo que la *Norma NTP 400.013* estaría indicando valores máximos permisibles de MMF no adecuados para la cantera de estudio.
- 9.1.10.** De acuerdo a los resultados favorables del Concreto con Agregado Global con 1.24% MMF, lo óptimo sería elaborar concretos con Agregado Grueso con

porcentajes de MMF cercanos a 0.56% y un Agregado Fino con porcentajes de MMF cercano a 1.97%.

9.2. Recomendaciones

Se recomendaría a la comunidad científica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cajamarca y de otras entidades, especialmente a los docentes y exalumnos egresados, interesados en investigar en el tema, lo siguiente:

- 9.2.1.** Realizar un estudio de las variables presentadas en esta Tesis con tratamientos similares, pero con una consistencia en estado no endurecido igual para todos los tratamientos, para así poder apreciar la influencia del MMF en el concreto sin la variación de agua de mezcla suelta que disminuye la resistencia a compresión.
- 9.2.2.** Realizar un estudio de las variables presentadas en esta Tesis con tratamientos similares usando un agregado de perfil angular, para así poder apreciar la influencia del MMF en el concreto con este tipo de agregado que favorece a la adherencia con pasta del cemento.
- 9.2.3.** Realizar un estudio de las variables presentadas en esta Tesis con tratamientos de concreto elaborado con el mismo tipo de Agregado Grueso que podría ser bien lavado, con la mínima cantidad de MMF, pero el Agregado Fino de los otros tratamientos con diferentes %MMF, para poder apreciar únicamente la influencia del MMF del Agregado fino con la mínima intervención del MMF del Agregado Grueso en las propiedades de concreto.
- 9.2.4.** Realizar un estudio de las variables presentadas en esta Tesis con tratamientos de concreto elaborado con el mismo tipo de Agregado Fino que podría ser bien lavado, con la mínima cantidad de MMF, pero el Agregado Grueso de los otros tratamientos con diferentes %MMF, para poder apreciar únicamente la influencia del MMF del Agregado Grueso con la mínima intervención del MMF del Agregado Fino en las propiedades de concreto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Braja, M. (2001). *"Fundamentos de Ingeniería Geotécnica"*, Thomsom Learning, México D.F.- Méjico.
2. CAPECO (2003). *"Costos y presupuestos en edificación"*, CAPECO, Lima - Perú
3. Comité ACI 211. (1985). *"Proporcionamineto de Mezclas Concreto Normal, pesado y Masivo ACI 211.1 "*
4. Comité ACI 214. (1977). *"Reporte del ACI 214 -77"*
5. Comité ACI 318. (1977). *"Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural"*
6. Decreto supremo DS N° 031-2010-SA
7. Harmsen, T. (2005) *"Diseño estructural de concreto armado"*, Cuarta Edición, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú.
8. Hurtado de Barrera, J. (2008). *Notas del Módulo V: "La Investigación Holística"*. Diplomado Internacional Proyectos de Investigación Científica y Humanística. Universidad de Cajamarca. Cajamarca – Perú.
9. INDECI. (2005). *"Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Cajamarca"*. Cajamarca – Perú.
10. Linares, J; Vásquez, G. (1984) *"Elaboración de especímenes de concreto utilizando mezcladora con variación en el tiempo de mezclado y en la relación agua/cemento"*, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca –Perú
11. Minitab, Inc. (2010). *"Meet Minitab 16"*. Estados Unidos.
12. Muñoz, F; Oreamuno, J(1995) *"Influencia de los finos pasando la malla No 200 (ASTM) en mezclas de concreto con cementos portland con adiciones"*, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
13. Norma ASTM C 31 (2003). *Práctica Normalizada para la preparación y curado en obra de las probetas para ensayo del hormigón*
14. Norma ASTM C 33. (2013). *Especificación Normalizada para Agregados para Concreto*
15. Norma ASTM C 39. (1999) *Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.*
16. Norma ASTM C 92 (2012) *Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio.*
17. ASTM C 117 (2003) *Método de Ensayo Normalizado para Materiales Más Finos que Una Criba No. 200 (75 µm) en Agregados Minerales Mediante Lavado*
18. Norma ASTM C 128 (2004) *Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Finos*

19. Norma ASTM C 131 (2002) Método de Ensayo Estándar para Resistencia al Desgaste del Agregado Grueso de Tamaño Menor por Abrasión e Impacto en la Maquina Los Ángeles
20. Norma ASTM C 136 (2005) Método de Ensayo Normalizado para la Determinación Granulométrica de Agregados Finos y Gruesos
21. Norma ASTM C 138 (2009) Método de Ensayo Normalizado de Densidad (Peso Unitario), Rendimiento, y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto
22. Norma ASTM C 143 (1990) Método de Ensayo Estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico
23. Norma ASTM C 150 (2012) Especificaciones estándar para cementos portland.
24. Norma ASTM C 188 (1995) Densidad del cemento hidráulico.
25. Norma ASTM C 469 (1994) Método Estándar de Ensayo para módulo de elasticidad estático y relación de poisson del concreto en compresión
26. Norma ASTM C 535 (2002) Método de Ensayo Estándar para Resistencia al Desgaste del Agregado Grueso de Tamaño Mayor por Abrasión e Impacto en la Maquina Los Ángeles
27. Norma ASTM C595 (2009) Especificación Normalizada para Cementos Adicionados Hidráulicos
28. Norma ASTM C 702 (1993) Practica Estándar para Reducción de las Muestras de Agregado a Tamaño de Prueba
29. Norma E.06 Concreto armado. (2009), Reglamento Nacional de Edificaciones, Lima – Perú.
30. Norma NTP 339.033 (1999) HORMIGON. Método de ensayo para la elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto en obra. 2a. ed.
31. Norma NTP 339.034 (1999) HORMIGON. Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto. 2a. ed.
32. Norma NTP 339.035 (1999) HORMIGON. Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams. 2a. ed.
33. Norma NTP 339.088 (1982) HORMIGON (CONCRETO). Agua para morteros y hormigones de cementos Portland. Requisitos
34. Norma NTP 400.011. (1976) AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos
35. Norma NTP 400.012. (2001) AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 2a. ed.
36. Norma NTP 400.013 (2002) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar el efecto de las impurezas orgánicas del agregado fino sobre la resistencia de morteros y hormigones. 2a. ed.
37. Norma NTP 400.017 (1999) AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. 2a. ed.

38. Norma NTP 400.018 (2002) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μ m (200) por lavado en agregados. 2a. ed.
39. Norma NTP 400.019 (2002) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles. 2a. ed.
40. Norma NTP 400.020 (2002) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños grandes por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles. 2a. ed.
41. Norma NTP 400.021. (2002) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. 2a. ed.
42. Norma NTP 400.022. (2002) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. 2a. ed.
43. Norma NTP 400.037. (2002) AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto)
44. Norma NTP 400.043 (2006) AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo
45. Okuyama, D.; Blondet, M.; Pasquel, E.; Mendoza, J. (2001). "Efecto del contenido del Material *Superfino* en las Características del Concreto", Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú.
46. Pérez, J; Castillo, S. (1985) "*Comportamiento de los áridos en la mezcla de concreto*", Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca –Perú
47. Real Academia Española. (2013) "Diccionario de la Real Academia Española" © Todos los derechos reservados
48. Rivva, Enrique. (2010). "*CONCRETO, TOMO II: Diseño de Mezclas*", Instituto de la Construcción y Gerencia, Lima – Perú.
49. Rivva, Enrique. (2004). "*Naturaleza y Materiales del Concreto*", Instituto de la Construcción y Gerencia, Lima – Perú.
50. Ronald E. Walpole, Raymond H. Myers, Sharon L. Myers, Keying Ye. (2007), "*Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*", Pearson Educación, Octava edición, México D.F. - Méjico.
51. Solano, J. (2011), Boletín N° 31: "*Adherencia pasta - agregado: Base de la resistencia del concreto*", Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto.

ANEXOS

ANEXO I: CALCULOS Y RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LOS AGREGADOS

A.I.1 Análisis granulométrico de las muestras de Agregado Grueso:

Tabla A.I.1.1

Análisis Granulométrico del agregado grueso Sin Lavado.

	Retenido (gr)	% Retenido	Acumulado (gr)	Que pasa (gr)	% que pasa:
1 1/2"	0	0.00%	0	10248.21	100.00
1"	0	0.00%	0	10248.21	100.00
3/4"	2718.47	26.53%	2718.47	7529.74	73.47
1/2"	4312.18	42.08%	7030.65	3217.56	31.40
3/8"	2379.56	23.22%	9410.21	838	8.18
Nº4	618.54	6.04%	10028.75	219.46	2.14
Nº8	157.21	1.53%	10185.96	62.25	0.61
CAZ	62.25	0.61%	10248.21	0	0.00
TOTAL:	10248.21				

Gráfico A.I.1.1

Granulometría del Agregado Grueso Sin Lavado (AG-SL) con el HUSO Nº 56 de la ASTM

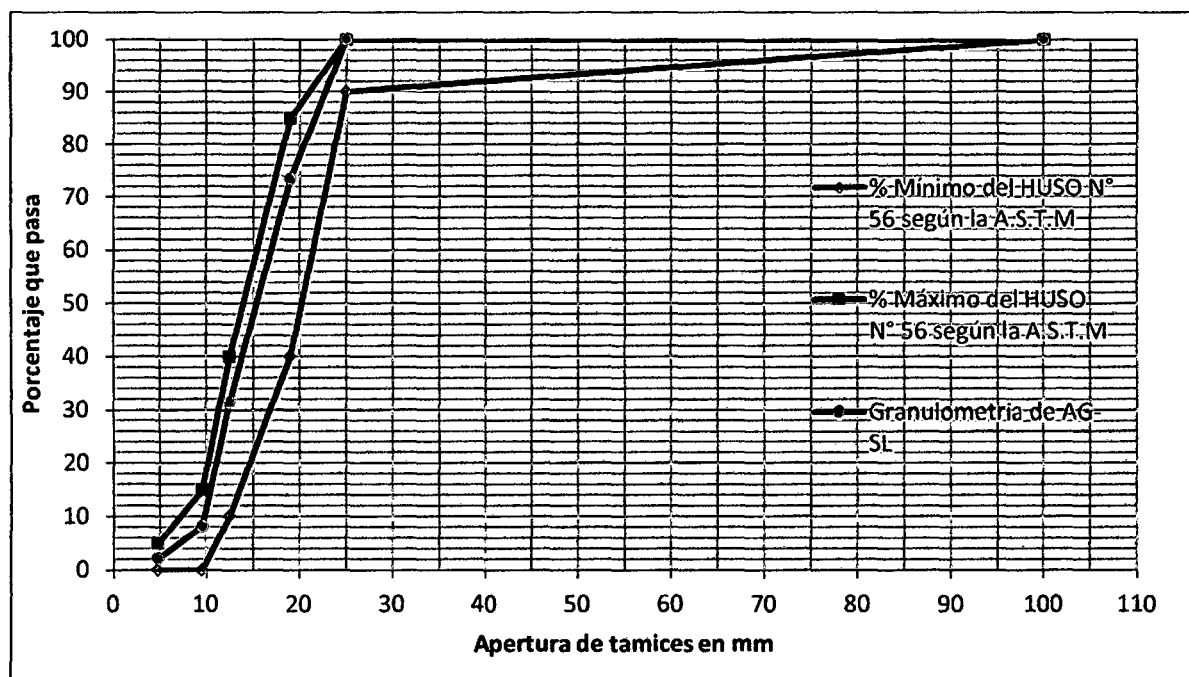


Tabla A.I.1.2

Análisis Granulométrico del agregado grueso medio lavado

	Retenido (gr)	% Retenido	Acumulado (gr)	Que pasa (gr)	% que pasa:
1 1/2"	0	0.00%	0	10045.31	100.00
1"	0	0.00%	0	10045.31	100.00
3/4"	2550.19	25.39%	2550.19	7495.12	74.61
1/2"	4303.64	42.84%	6853.83	3191.48	31.77
3/8"	2516.16	25.05%	9369.99	675.32	6.72
Nº4	493.49	4.91%	9863.48	181.83	1.81
Nº8	149.89	1.49%	10013.37	31.94	0.32
CAZ	31.94	0.32%	10045.31	0	0.00
TOTAL:	10045.31				

Gráfico A.I.1.2

Granulometría del Agregado Grueso medio lavado (AG-ML) con el HUSO Nº 56 de la ASTM

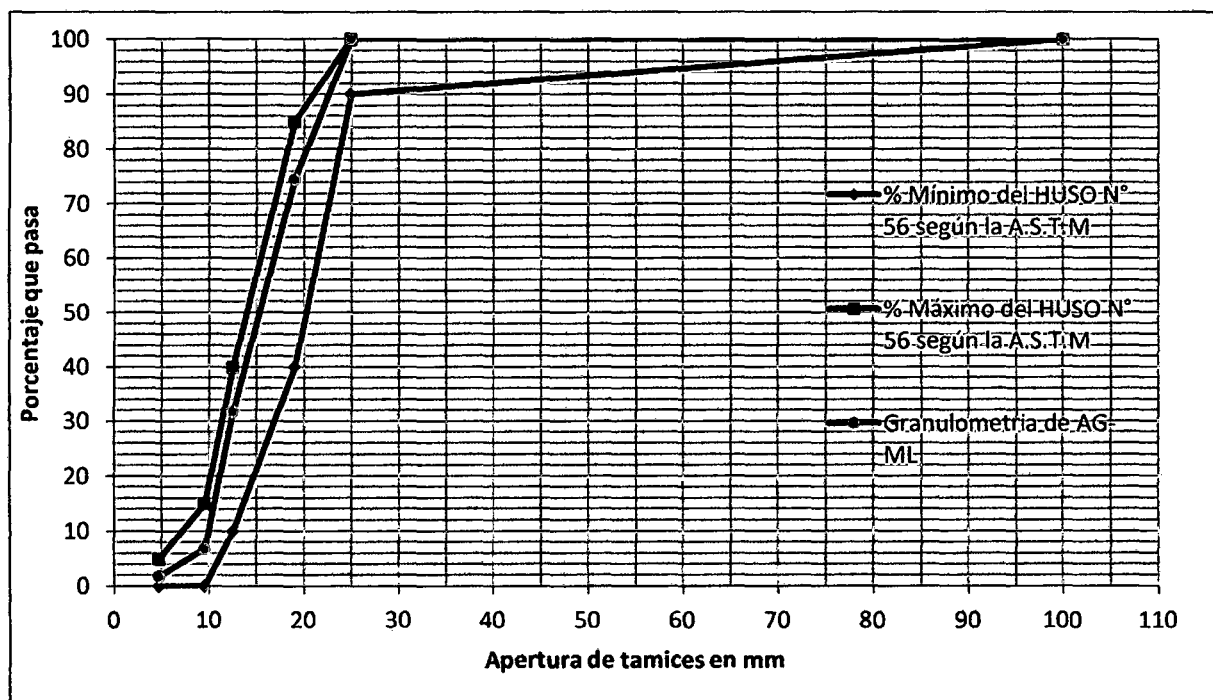


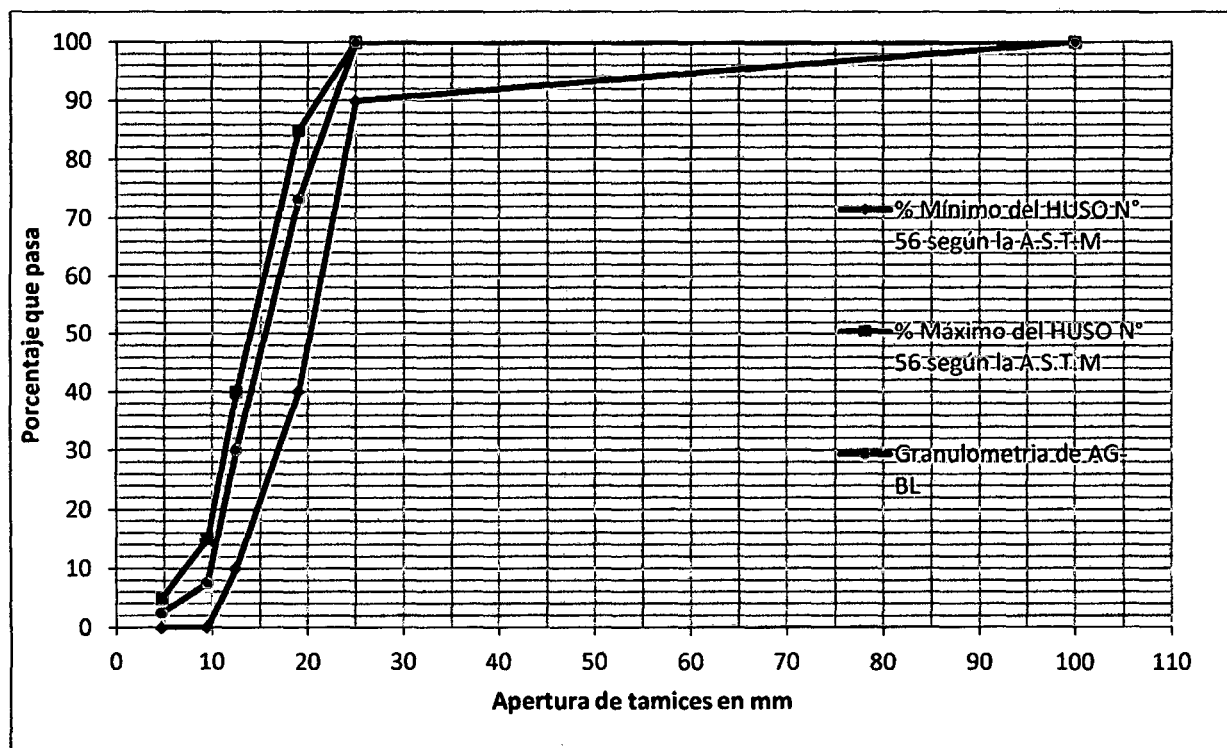
Tabla A.I.1.3

Análisis Granulométrico del agregado grueso bien lavado

	Retenido (gr)	% Retenido	Acumulado (gr)	Que pasa (gr)	% que pasa:
1 1/2"	0	0.00%	0	10123.41	100.00
1"	0	0.00%	0	10123.41	100.00
3/4"	2711.08	26.78%	2711.08	7412.33	73.22
1/2"	4361.5	43.08%	7072.58	3050.83	30.14
3/8"	2287.42	22.60%	9360	763.41	7.54
Nº4	506.28	5.00%	9866.28	257.13	2.54
Nº8	184.65	1.82%	10050.93	72.48	0.72
CAZ	72.48	0.72%	10123.41	0	0.00
TOTAL:	10123.41				

Gráfico A.I.1.3

Granulometría del Agregado Grueso Bien Lavado (AG-BL) con el HUSO N° 56 de la ASTM



A.I.2 Análisis granulométrico de las muestras de Agregado Fino:

Tabla A.I.2.1
Análisis Granulométrico del Agregado Fino Sin Lavado

	Retenido (gr)	% Retenido	Acumulado (gr)	% Acumulado:	Que pasa (gr)	% que pasa:
3/8"	0	0.00%	0	0.00%	397.5	100.00
1/4"	8.5	2.14%	8.5	2.14%	389	97.86
Nº4	10.2	2.57%	18.7	4.70%*	378.8	95.30
Nº8	56.7	14.26%	75.4	18.97%*	322.1	81.03
Nº16	62.3	15.67%	137.7	34.64%*	259.8	65.36
Nº30	72.2	18.16%	209.9	52.81%*	187.6	47.19
Nº50	90.5	22.77%	300.4	75.57%*	97.1	24.43
Nº100	68.3	17.18%	368.7	92.75%*	28.8	7.25
Nº200	23.4	5.89%	392.1	98.64%	5.4	1.36
CAZ	5.4	1.36%	397.5	100.00%	0	0.00
TOTAL:	397.5					

* Valores utilizados para calcular el módulo de fineza

Gráfico A.I.2.1

Granulometría del Agregado Fino Sin Lavado (AF-SL) con el HUSO según la NTP 400.037

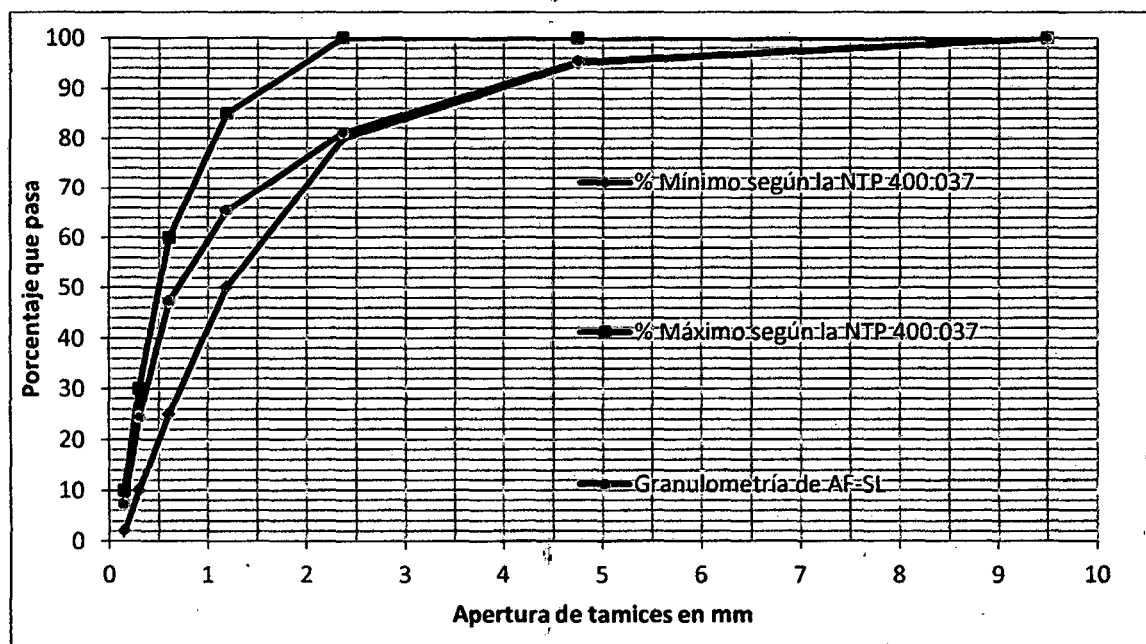


Tabla A.I.2.2
Análisis Granulométrico del agregado Fino Medio Lavado

	Retenido (gr)	% Retenido	Acumulado (gr)	% Acumulado:	Que pasa (gr)	% que pasa:
3/8"	0	0.00%	0	0.00%	330.9	100.00
1/4"	6.7	2.02%	6.7	2.02%	324.2	97.98
Nº4	8.4	2.54%	15.1	4.56%*	315.8	95.44
Nº8	49.5	14.96%	64.6	19.52%*	266.3	80.48
Nº16	50.4	15.23%	115	34.75%*	215.9	65.25
Nº30	59.4	17.95%	174.4	52.70%*	156.5	47.30
Nº50	76.2	23.03%	250.6	75.73%*	80.3	24.27
Nº100	56.2	16.98%	306.8	92.72%*	24.1	7.28
Nº200	21.4	6.47%	328.2	99.18%	2.7	0.82
CAZ	2.7	0.82%	330.9	100.00%	0	0.00
TOTAL:	330.9					

* Valores utilizados para calcular el módulo de fineza

Gráfico A.I.2.2

Granulometría del agregado fino medio lavado (AF-ML) con el HUSO según la NTP 400.037

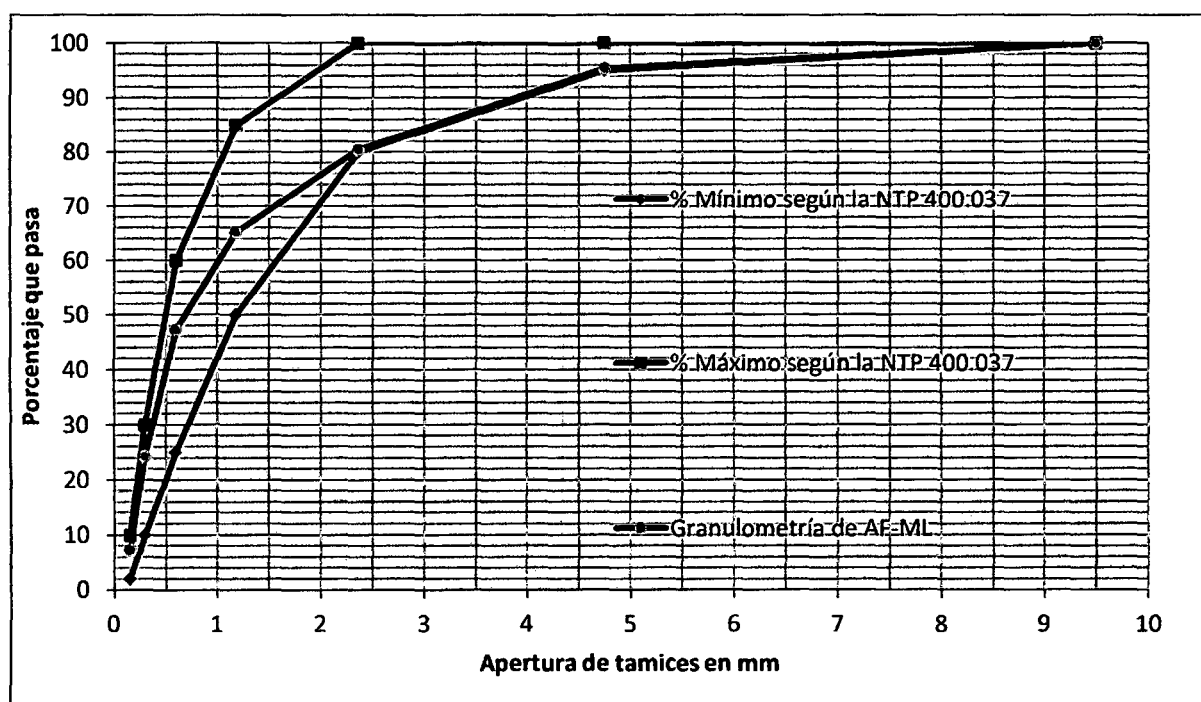


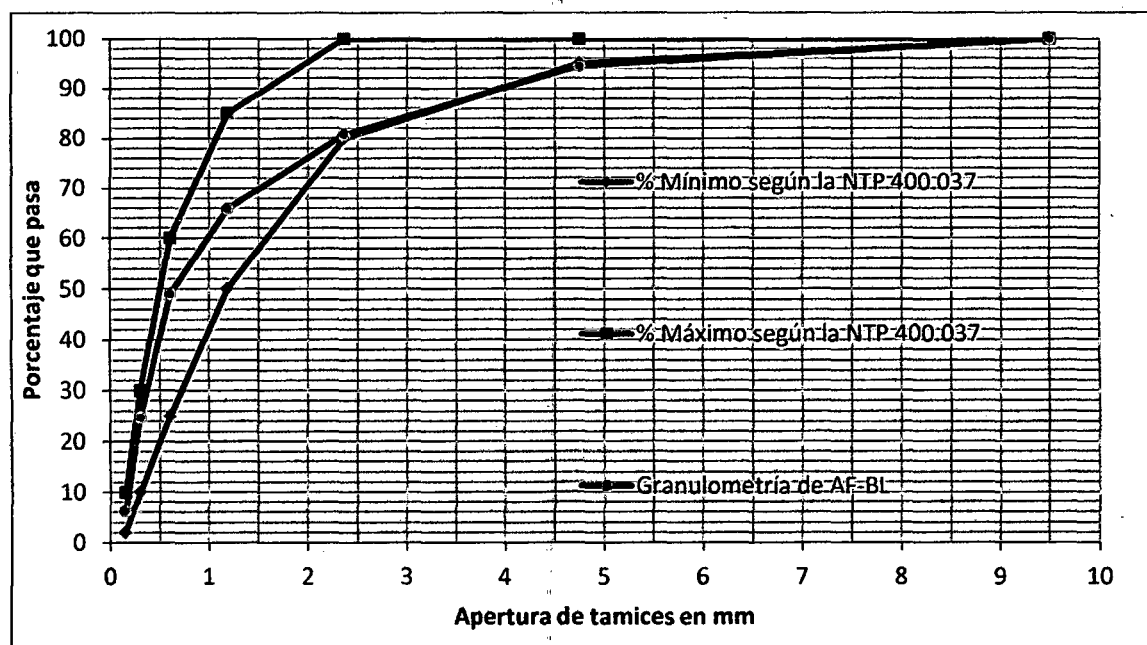
Tabla A.I.2.3
Análisis Granulométrico del agregado Fino Bien Lavado

	Retenido (gr)	% Retenido	Acumulado (gr)	% Acumulado:	Que pasa (gr)	% que pasa:
3/8"	0	0.00%	0	0.00%	358.5	100.00
1/4"	9.2	2.57%	9.2	2.57%	349.3	97.43
Nº4	10.5	2.93%	19.7	5.50%*	338.8	94.50
Nº8	49.3	13.75%	69	19.25%*	289.5	80.75
Nº16	53.3	14.87%	122.3	34.11%*	236.2	65.89
Nº30	60.3	16.82%	182.6	50.93%*	175.9	49.07
Nº50	87.3	24.35%	269.9	75.29%*	88.6	24.71
Nº100	66	18.41%	335.9	93.70%*	22.6	6.30
Nº200	21.4	5.97%	357.3	99.67%	1.2	0.33
CAZ	1.2	0.33%	358.5	100.00%	0	0.00
TOTAL:	358.5					

* Valores utilizados para calcular el módulo de fineza

Gráfico A.I.2.3

Granulometría del Agregado Fino Bien Lavado (AF-ML) con el HUSO según la NTP 400.037



A.1.3 Cálculo de módulo de fineza de los tipos de agregado fino**Módulo de fineza del Agregado Fino Sin Lavado (AF-SL)***Módulo fineza AF – SL:*

$$\frac{\sum \%ret. acum. en mallas N^{\circ} 4; N^{\circ} 8; N^{\circ} 16; N^{\circ} 30; N^{\circ} 50; y N^{\circ} 100}{100}$$

Módulo fineza AF – SL:

$$\frac{4.70 + 18.97 + 34.64 + 52.81 + 75.57 + 92.75}{100}$$

Módulo fineza AF – SL: 2.794**Módulo de fineza del agregado fino Medio Lavado (AF-ML)***Módulo fineza AF – ML:*

$$\frac{\sum \%ret. acum. en mallas N^{\circ} 4; N^{\circ} 8; N^{\circ} 16; N^{\circ} 30; N^{\circ} 50; y N^{\circ} 100}{100}$$

Módulo fineza AF – ML:

$$\frac{4.56 + 19.52 + 34.75 + 52.70 + 75.73 + 92.72}{100}$$

Módulo fineza AF – ML: 2.800**Módulo de fineza del agregado fino Bien Lavado (AF-BL)***Módulo fineza AF – BL:*

$$\frac{\sum \%ret. acum. en mallas N^{\circ} 4; N^{\circ} 8; N^{\circ} 16; N^{\circ} 30; N^{\circ} 50; y N^{\circ} 100}{100}$$

Módulo fineza AF – BL:

$$\frac{5.50 + 19.25 + 34.11 + 50.93 + 75.29 + 93.70}{100}$$

Módulo fineza AF – BL: 2.788

**ANEXO II:
CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PESO
ESPECÍFICO, Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS**

A.II.1 Determinación del peso específico y absorción de los tres tipos de agregado fino

**Tabla A.II.1.1
Determinación del peso específico y absorción del Agregado Fino Sin Lavado**

Determinación del peso específico y absorción del agregado fino			
Muestra:	AF -SL		
ENSAYO N°	1	2	3
Peso muestra SSS (gr):	500	500	500
Volumen picnómetro (cm³):	500	500	500
Peso pic + muestra + agua (gr):	1002.7	1004.5	1003.8
Peso pic + agua (gr):	695.2	695.2	695.2
Peso agua añadida (gr):	192.5	190.7	191.4
Peso muestra seca (gr):	485.7	485.6	485.8
Peso específico de masa (gr/cm³):	2.6	2.62	2.61
Promedio (gr/cm³):	2.61		
Porcentaje de absorción:	2.94%	2.97%	2.92%
Promedio:	2.94%		

**Tabla A.II.1.2
Determinación del peso específico y absorción del agregado Fino Medio Lavado**

Determinación del peso específico y absorción del agregado fino			
Muestra:	AF -ML		
ENSAYO N°	1	2	3
Peso muestra SSS (gr):	500	500	500
Volumen picnómetro (cm³):	500	500	500
Peso pic + muestra + agua (gr):	1021.1	1021.6	1021.4
Peso pic + agua (gr):	711.7	711.7	711.7
Peso agua añadida (gr):	190.6	190.1	190.3
Peso muestra seca (gr):	488.4	488.2	488.3
Peso específico de masa (gr/cm³):	2.62	2.63	2.63
Promedio (gr/cm³):	2.63		
Porcentaje de absorción:	2.38%	2.42%	2.40%
Promedio:	2.40%		

Tabla A.II.1.3
Determinación del peso específico y absorción del agregado Fino Bien Lavado

Determinación del peso específico y absorción del agregado fino			
Muestra:	AG - BL		
ENSAYO N°	1	2	3
Peso muestra SSS (gr):	500	500	500
Volumen picnómetro (cm³):	500	500	500
Peso pic + muestra + agua (gr):	1021.5	1021.6	1021.1
Peso pic + agua (gr):	710.9	710.9	710.9
Peso agua añadida (gr):	189.4	189.3	189.8
Peso muestra seca (gr):	489.5	489.7	489.6
Peso específico de masa (gr/cm³):	2.64	2.64	2.63
Promedio (gr/cm³):	2.64		
Porcentaje de absorción:	2.15%	2.10%	2.12%
Promedio:	2.12%		

A.II.2 Determinación del peso específico y absorción de los tres tipos de agregado grueso

Tabla A.II.2.1
Determinación del peso específico y absorción del agregado Grueso Sin Lavado

Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso	
Muestra:	AG - SL
Peso canastilla en el aire (gr):	2626
Peso canastilla sumergida (gr):	2234
Peso canastilla + muestra SSS en el aire (gr):	10482
Peso canastilla + muestra SSS sumergida (gr):	7216
Peso muestra seca (gr):	7693.19
Peso muestra SSS en el aire (gr):	7856
Peso muestra SSS sumergida (gr):	4982
Peso específico de masa (gr/cm³):	2.68
Porcentaje de absorción:	2.12%

Tabla A.II.2.2
Determinación del peso específico y absorción del agregado Grueso Medio Lavado

Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso	
Muestra:	AG - ML
Peso canastilla en el aire (gr):	2626
Peso canastilla sumergida (gr):	2234
Peso canastilla + muestra SSS en el aire (gr):	11022
Peso canastilla + muestra SSS sumergida (gr):	7578
Peso muestra seca (gr):	8209.5
Peso muestra SSS en el aire (gr):	8396
Peso muestra SSS sumergida (gr):	5344
Peso específico de masa (gr/cm³):	2.69
Porcentaje de absorción:	2.27%

Tabla A.II.2.3
Determinación del peso específico y absorción del agregado Grueso Bien Lavado

Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso	
Muestra:	AG - BL
Peso canastilla en el aire (gr):	2626
Peso canastilla sumergida (gr):	2234
Peso canastilla + muestra SSS en el aire (gr):	10592
Peso canastilla + muestra SSS sumergida (gr):	7290
Peso muestra seca (gr):	7793.8
Peso muestra SSS en el aire (gr):	7966
Peso muestra SSS sumergida (gr):	5056
Peso específico de masa (gr/cm³):	2.68
Porcentaje de absorción:	2.21%

ANEXO III CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.III.1 Determinación del contenido de humedad del agregado fino

Tabla A.III.1.1
Determinación del contenido de humedad del agregado Fino Sin Lavado

Determinación del contenido de humedad del agregado fino:			
Muestra:	AF -SL		
ENSAYO N°	1	2	3
Peso muestra húmeda (gr):	501.6	456	324.3
Peso muestra seca (gr):	486.3	442.4	314.4
Contenido de humedad:	3.15	3.07	3.15
Promedio contenido de humedad:	3.12 %		

Tabla A.III.1.2
Determinación del contenido de humedad del agregado Fino Medio Lavado

Determinación del contenido de humedad del agregado fino:			
Muestra:	AF -ML		
ENSAYO N°	1	2	3
Peso muestra húmeda (gr):	511.3	335.4	442.3
Peso muestra seca (gr):	495.4	324.4	428.9
Contenido de humedad:	3.21	3.39	3.12
Promedio contenido de humedad:	3.24 %		

Tabla A.III.1.3
Determinación del contenido de humedad del agregado Fino Bien Lavado

Determinación del contenido de humedad del agregado fino:			
Muestra:	AF -BL		
ENSAYO N°	1	2	3
Peso muestra húmeda (gr):	546.3	385.4	328.5
Peso muestra seca (gr):	529.3	373.8	318.4
Contenido de humedad:	3.21	3.1	3.17
Promedio contenido de humedad:	3.16 %		

A.III.2 Determinación del contenido de humedad del agregado grueso

Tabla A.III.2.1

Determinación del contenido de humedad del Agregado Grueso Sin Lavado

Determinación del contenido de humedad del agregado grueso:	
Muestra:	AG -SL
Peso muestra húmeda (gr):	4234.3
Peso muestra seca (gr):	4205.4
Contenido de humedad:	0.69

Tabla A.III.2.2

Determinación del contenido de humedad del Agregado Grueso Medio Lavado

Determinación del contenido de humedad del agregado grueso:	
Muestra:	AG -ML
Peso muestra húmeda (gr):	4089.5
Peso muestra seca (gr):	4061
Contenido de humedad:	0.7

Tabla A.III.2.3

Determinación del contenido de humedad del Agregado Grueso Bien Lavado

Determinación del contenido de humedad del agregado grueso:	
Muestra:	AG -BL
Peso muestra húmeda (gr):	4101.6
Peso muestra seca (gr):	4073.5
Contenido de humedad:	0.69

ANEXO IV
CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PESO
UNITARIO COMPACTADO Y NO COMPACTADO DE LOS
AGREGADOS

A.IV.1 Determinación del peso unitario volumétrico compactado de los tres tipos de agregado grueso

Tabla A.IV.1.1
Determinación del peso unitario volumétrico compactado del Agregado Grueso Sin Lavado

Determinación del peso unitario volumétrico compactado del agregado grueso:	
Muestra:	AG -SL
Peso de la muestra compactada (gr):	7560
Peso agua en el molde (gr):	4590
Peso aparente compactado (kg/m3):	1645

Tabla A.IV.1.2
Determinación del peso unitario volumétrico compactado del Agregado Grueso Medio Lavado

Determinación del peso unitario volumétrico compactado del agregado grueso:	
Muestra:	AG -ML
Peso de la muestra compactada (gr):	7535
Peso agua en el molde (gr):	4590
Peso aparente compactado (kg/m3):	1640

Tabla A.IV.1.3
Determinación del peso unitario volumétrico compactado del Agregado Grueso Bien Lavado

Determinación del peso unitario volumétrico compactado del agregado grueso:	
Muestra:	AG -BL
Peso de la muestra compactada (gr):	7565
Peso agua en el molde (gr):	4590
Peso aparente compactado (kg/m3):	1647

A.IV.2 Determinación del peso unitario volumétrico suelto de los tres tipos de agregado fino.

**Tabla A.IV.2.1
Determinación del peso unitario volumétrico suelto del Agregado Fino Sin Lavado**

Determinación del peso unitario volumétrico suelto del agregado fino:	
Muestra:	AF -SL
Peso de la muestra suelta (gr):	6745
Peso agua en el molde (gr):	4590
Peso aparente suelto (kg/m³):	1468

**Tabla A.IV.2.2
Determinación del peso unitario volumétrico suelto del Agregado Fino Medio Lavado**

Determinación del peso unitario volumétrico suelto del agregado fino:	
Muestra:	AF -ML
Peso de la muestra suelta (gr):	6780
Peso agua en el molde (gr):	4590
Peso aparente suelto (kg/m³):	1476

**Tabla A.IV.2.3
Determinación del peso unitario volumétrico suelto del Agregado Fino Medio Lavado**

Determinación del peso unitario volumétrico suelto del agregado fino:	
Muestra:	AF -BL
Peso de la muestra suelta (gr):	6760
Peso agua en el molde (gr):	4590
Peso aparente suelto (kg/m³):	1471

A.IV.3 Determinación del peso unitario volumétrico suelto del agregado grueso

Tabla A.IV.3.1

Determinación del peso unitario volumétrico suelto del Agregado Grueso Sin Lavado

Determinación del peso unitario volumétrico suelto del agregado grueso:	
Muestra:	AG -SL
Peso de la muestra suelta (gr):	7040
Peso agua en el molde (gr):	4590
Peso aparente suelto (kg/m³):	1532

Tabla A.IV.3.2

Determinación del peso unitario volumétrico suelto del Agregado Grueso Medio Lavado

Determinación del peso unitario volumétrico suelto del agregado grueso:	
Muestra:	AG -ML
Peso de la muestra suelta (gr):	7010
Peso agua en el molde (gr):	4590
Peso aparente suelto (kg/m³):	1526

Tabla A.IV.3.3

Determinación del peso unitario volumétrico suelto del Agregado Grueso Bien Lavado

Determinación del peso unitario volumétrico suelto del agregado grueso:	
Muestra:	AG -BL
Peso de la muestra suelta (gr):	7030
Peso agua en el molde (gr):	4590
Peso aparente suelto (kg/m³):	1530

ANEXO V
CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 200 DE LOS AGREGADOS

A.V.1 Determinación de la cantidad de material que pasa la malla N° 200 de los tres tipos de agregado fino

Tabla A.V.1.1
Determinación de la cantidad de material que pasa la malla N° 200 del Agregado Fino Sin Lavado

Determinación Cantidad de material que pasa la malla N° 200			
Muestra:	AF-SL		
Peso de la muestra (gr):	1034.4	1067.6	1012
Peso muestra seca lavada(gr):	996.9	1028.78	976.1
Cantidad de material que pasa la malla °200:	3.63%	3.64%	3.55%
Promedio de cantidad de material que pasa la malla °200:	3.61%		

Tabla A.V.1.2
Determinación de la cantidad de material que pasa la malla N° 200 del Agregado Fino Medio Lavado

Determinación cantidad de material que pasa la malla N° 200			
Muestra:	AF-ML		
Peso de la muestra (gr):	1056.4	1066	1007.3
Peso muestra seca lavada(gr):	1036	1044.5	987.57
Cantidad de material que pasa la malla °200:	1.93%	2.02%	1.96%
Promedio de cantidad de material que pasa la malla °200:	1.97%		

Tabla A.V.1.3
Determinación de la cantidad de material que pasa la malla N° 200 del Agregado Fino Bien Lavado

Determinación cantidad de material que pasa la malla N° 200			
Muestra:	AF-BL		
Peso de la muestra (gr):	1102.4	1003.4	1022.5
Peso muestra seca lavada(gr):	1099.4	1001	1019.5
Cantidad de material que pasa la malla °200:	0.27%	0.24%	0.29%
Promedio de cantidad de material que pasa la malla °200:	0.27%		

A.V.2 Cantidad de material que pasa la malla N° 200 de los tres tipos de agregado grueso

Tabla A.V.2.1

Determinación de la cantidad de material que pasa la malla N° 200 del Agregado Grueso Sin Lavado

Determinación Cantidad de material que pasa la malla N° 200	
Muestra:	AG-SL
Peso de la muestra (gr):	5023.5
Peso muestra seca lavada(gr):	4976.9
Cantidad de material que pasa la malla °200:	0.93%

Tabla A.V.2.2

Determinación de la cantidad de material que pasa la malla N° 200 del Agregado Grueso Medio Lavado

Determinación Cantidad de material que pasa la malla N° 200	
Muestra:	AG-ML
Peso de la muestra (gr):	5088.8
Peso muestra seca lavada(gr):	5059.3
Cantidad de material que pasa la malla °200:	0.58%

Tabla A.V.2.3

Determinación de la cantidad de material que pasa la malla N° 200 del Agregado Grueso Bien Lavado

Determinación Cantidad de material que pasa la malla N° 200	
Muestra:	AG-BL
Peso de la muestra (gr):	5068.2
Peso muestra seca lavada(gr):	5057.9
Cantidad de material que pasa la malla °200:	0.20%

ANEXO VI

FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EMPLEADO



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002 -
Versión 01

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150

Pacasmayo, 01 de marzo del 2012

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	1.9	Máximo 6.0
SO3	%	2.6	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	2.6	Máximo 3.0
Residuo Insoluble	%	0.61	Máximo 0.75

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	7	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.16	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3940	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.1	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (kg/cm ²)	27.0 (275)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (kg/cm ²)	32.8 (335)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (kg/cm ²)	39.1 (399)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	149	Mínimo 45
Fraguado Final	min	292	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados corresponden al promedio del cemento despachado en el año 2011.

(*) Requisito opcional.

ANEXO VII DISEÑO DE MEZCLAS Y AJUSTE DE PROPORCIONES DEL CONCRETO

A.VII.1 Selección de las proporciones del concreto por el método ACI del comité 211

A.VII.1.1. Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia a compresión especificada.

Las mezclas de concreto siempre deben diseñarse para una resistencia de diseño promedio cuyo valor es siempre superior al de la resistencia de diseño especificada ($f'c$). La diferencia entre ambas resistencias está dada y se determina en función al grado de control de uniformidad y de la calidad del concreto [Rivva, 2013:38]

Como las mezclas de concreto para los especímenes cilíndricos se realizaron en las condiciones de laboratorio, habiendo más control y uniformidad en la elaboración del concreto, se optó por tomar un coeficiente bajo (1.20) para obtener el $f'cr$.

$$f'cr = f'c \times 1.20$$

$$f'cr = 210 \text{ kg/cm}^2 \times 1.20$$

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

A.VII.1.2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Como se indicó en el ítem 3.3.3 El Tamaño Máximo Nominal (TMN) se determinó mediante el análisis de granulométrico del agregado grueso, obteniendo el valor de TMN de 1" para los tres tipos de agregados obtenidos (AG-SL, AG-ML, AG-BL)

A.VII.1.3. Selección del asentamiento.

Como se indicó en el ítem 2.6.1.2. El asentamiento o slump elegido fue de 3" a 4" para poder obtener una consistencia plástica del concreto no endurecido.

A.VII.1.4. Selección de volumen unitario del agua de diseño.

La tabla A.VII.1.4.1 ha sido preparada en base a las recomendaciones del Comité 211 del ACI. Ella permite seleccionar el volumen unitario de agua, para agregados en estado seco, en concretos preparados con o sin aire incorporado; teniendo como factores a ser considerados la consistencia que se desea para la mezcla y el TMN del agregado grueso seleccionado.

Consideraciones:

- Slump deseado: 3" a 4"
- TMN del agregado grueso: 1"
- Aire incorporado: Concreto Sin Aire Incorporado

A.VII.1.4.1 Volumen unitario de Agua

Agua, en lbs/m^3 , para los tamaños máx. Nominales de agregado grueso y consistencia indicada								
Asentamiento	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	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	—

- Esta tabla ha sido confeccionada por el Comité 211 del ACI
- Los valores de esta tabla se emplearán en la determinación del factor cemento en mezclas preliminares de prueba. Son valores máximos corresponden a agregado grueso de granulometría comprendida dentro de los límites de la Norma ASTM C 33.
- En aquellos casos que el agregado posee características que obligan al aumento de volumen de agua, deberá aumentarse igualmente el contenido de cemento a fin de mantener invariable la relación agua/cemento.

- Si el agregado posee características tales que permiten el empleo de cantidades menores de agua que las indicadas en la tabla, se recomienda no modificar la relación agua/cemento.

De la Tabla A.VII.1.4.1 obtenemos el agua de mezclado: **193 lts/m³**

A.VII.1.5. Selección del contenido de aire.

La tabla A.VII.1.5.1 da el porcentaje aproximado de aire atrapado, en mezclas sin aire incorporado, para diferentes tamaños máximos nominales de agregado grueso adecuadamente graduados dentro de los requisitos de la norma *NTP 400.037* ó *ASTM C 33*.

Consideraciones:

- Grado de Exposición: Normal
- TMN del agregado grueso: 1"

**Tabla A.VII.1.5.1
Contenido de Aire Atrapado**

Concreto sin aire incorporado									
Tamaño Máximo Nominal de A°G° (")	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"	
Aire atrapado (%)	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50	0.30	0.20	

De la *tabla A.VII.1.5.1* obtenemos que el aire atrapado es: **1.5%**

A.VII.1.6. Selección de la relación agua/cemento por resistencia.

La *tabla A.VII.1.6.1* es una adaptación de la confeccionada por el Comité 211 del ACI. Esta Tabla da las relaciones agua/cemento en peso máximas permisibles para diferentes valores de la resistencia promedio, ya sea que se trate de concretos sin o con aire incorporado.

Esta Tabla da valores aproximados y relativamente conservadores para concretos con cemento portland normal Tipo I. Para materiales que cumplen con las Normas ASTM C 33 ó NTP 400.037, las relaciones agua/cemento de esta tabla deberían permitir obtener las resistencias indicadas, las cuales corresponden a probetas ensayadas a los 28 días de vaciadas después de ser curadas bajo condiciones estándar de laboratorio.

Consideraciones para la Tabla A.VII.1.6.1:

- **Concreto Sin Aire Incorporado**
- **f'cr: 252 Kg/cm²**

**Tabla A.VII.1.6.1
Relación Agua/Cemento por Resistencia**

f'c a 28 días (kg/cm ²)	Relación Agua/Cemento en peso	
	Concreto Sin Aire Incorporado	Concreto Con Aire Incorporado
150	0.79	0.7
200	0.69	0.6
250	0.61	0.52
300	0.54	0.45
350	0.47	0.39
400	0.42	---
450	0.38	---

- *Esta tabla es una adaptación de la confeccionada por el Comité 211 del ACI*
- *La resistencia corresponde a resultados ensayados en probetas cilíndricas estándar de 15 x 30 cm preparadas y curadas de acuerdo a lo indicado en la norma ASTM C 31.*
- *Las relaciones agua/cemento se basan en tamaños máximos nominales del agregado grueso comprendidos entre ¾" y 1". La resistencia producida por una relación agua/cemento dada deberá incrementarse conforme al tamaño máximo nominal disminuye.*

De la *tabla A.VII.1.6.1* obtenemos la relación A/C para nuestro $f'c$:

$f'c$	A/C
250 Kg/cm ²	→ 0.61
252 Kg/cm ²	→ 0.61
300 Kg/cm ²	→ 0.50

Relación A/C: **0.61**

A.VII.1.7. Determinación del Factor cemento.

Conocidos el volumen unitario de agua por unidad de volumen del concreto (*ítem A.VII.1.4*) y la relación agua/cemento (*ítem A.VII.1.6*), se puede determinar el factor cemento por unidad cúbica de concreto mediante la división del volumen unitario de agua, expresada en litros por metro cúbico, entre la relación agua/cemento, obteniéndose el número de kilos de cemento por unidad cúbica de concreto.

$$\text{Cemento: } \frac{\text{Volumen Unitario de Agua}}{\text{Relación A/C}}$$

$$\text{Cemento: } 193/0.61$$

$$\text{Cemento: } 316.39 \text{ Kg/m}^3$$

A.VII.1.8. Determinación del contenido de agregado grueso.

EL Comité 211 del ACI parte del criterio que agregados gruesos de tamaño máximo nominal y granulometría esencialmente similares, deberán permitir obtener concretos de trabajabilidad satisfactoria cuando un determinado volumen de agregado grueso, en condiciones de seco y compactado, es empleado por la unidad de volumen del concreto.

La *tabla A.VII.1.8.1*, elaborada por el Comité 211 del ACI es en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. Ella permite obtener un coeficiente b/b_0 resultante de la división del peso seco del agregado grueso requerido por la unidad cúbica de concreto entre el peso unitario seco y varillado del agregado grueso, expresado en kg/m³.

Consideraciones para la tabla A.VII.1.8.1:

- Módulo de fineza del Agregado Fino (Promedio AF-SL, AF-ML, AF-BL): 2.794
- Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso: 1"

Tabla A.VII.1.8.1
Peso del Agregado Grueso por Unidad de Volumen del Concreto

Tamaño Máximo de Nominal del Agregado Grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del Agregado Fino			
	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"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.79	0.78	0.75
4"	0.87	0.85	0.83	0.81

- El Agregado Grueso se encuentra en la condición de seco compactado, tal como es definida por la **Norma ASTM C 29**
- El cálculo del contenido de Agregado Grueso a partir del coeficiente b/b_0 , permite obtener concretos con una trabajabilidad adecuada para concreto armado usual.
- Para concreto menos trabajables, tales como los que se requiere en pavimentos, la relación puede incrementarse en un 10%. Para concretos más trabajables, tales como los concretos bombeados, los valores pueden reducirse en un 10%.

De la tabla A.VII.1.8.1 obtenemos el coeficiente b/b_0 para nuestro módulo de fineza:

Módulo de Fineza	b/b_0
2.40	→ 0.71
2.79	→ 0.67
2.60	→ 0.69

Cemento: 316.40 Kg/m³
Agua de diseño: 193.00 Lts/m³
Agregado Fino Seco: 732.50 Kg/m³
Agregado Grueso Seco: 1102.50 Kg/m³

A.VII.1.11. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.

En el ítem 3.6.2.2. Se optó por considerar el valor propio de Absorción para cada tipo de Agregado fino, por lo que correspondería realizar la corrección de los valores de diseño por humedad del agregado para cada tipo de Agregado Fino.

A.VII.1.11.1. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado Sin Lavado.

Sabiendo que:

Absorción del Agregado Fino (AF – SL): 2.94%
Absorción del Agregado Grueso: 2.20%
Conenido de Humedad del Agregado Fino: 3.17%
Conenido de Humedad del Agregado Grueso: 0.69%

Calculamos los pesos húmedos de los agregados:

Peso húmedo del Agregado Fino: 732.5(1 + (3.17)/100) = 755.70 Kg/m³
Peso húmedo del Agregado Grueso: 1102.5(1 + 0.69/100) = 1110.70 Kg/m³

Determinamos la humedad superficial de los agregados:

Humedad superficial del Agregado Fino: 3.17 % – 2.94 % = 0.23 %
Humedad superficial del Agregado Grueso: 0.69 % – 2.20 % = –1.51 %

Determinamos el aporte de humedad de los agregados:

$$\begin{aligned} \text{Aporte de humedad del Agregado Fino: } & \dots\dots\dots 732.5 \times 0.23 \% = 1.69 \text{ Lts/m}^3 \\ \text{Aporte de humedad del Agregado Grueso: } & \dots\dots\dots 1102.5 \times -1.51 \% = -16.65 \text{ Lts/m}^3 \\ \text{Total de Aporte de humedad de los Agregados: } & \dots\dots\dots -14.96 \text{ Lts/m}^3 \end{aligned}$$

Como el Agregado toma agua de la mezcla para llegar a su condición de saturado superficialmente seco, será necesario adicionar los -14.96 Lts/m^3 al agua de diseño para obtener el agua efectiva que hay que colocar en la mezcladora. De no hacerlo así, la mezcla se haría más seca, menos trabajable y más consistente, además que se modificaría la relación agua/cemento de diseño y las propiedades al estado endurecido.

$$\text{Agua efectiva: } \dots\dots\dots 193.00 + 14.96 = 207.96 \text{ Lts/m}^3$$

Por lo cual, los nuevos pesos de los materiales por metro cúbico de concreto, ya corregidos por humedad del agregado, a ser empleados en las mezclas de prueba son:

$$\begin{aligned} \text{Cemento: } & \dots\dots\dots 316.40 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Agua efectiva: } & \dots\dots\dots 207.96 \text{ Lts/m}^3 \\ \text{Agregado Fino Húmedo: } & \dots\dots\dots 755.70 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Agregado Grueso Húmedo: } & \dots\dots\dots 1110.70 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

A.VII.1.11.2. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado Medio Lavado

Sabiendo que:

$$\begin{aligned} \text{Absorción del Agregado Fino (AF - ML): } & \dots\dots\dots 2.40\% \\ \text{Absorción del Agregado Grueso: } & \dots\dots\dots 2.20\% \\ \text{Concenido de Humedad del Agregado Fino: } & \dots\dots\dots 3.17\% \\ \text{Concenido de Humedad del Agregado Grueso: } & \dots\dots\dots 0.69\% \end{aligned}$$

Calculamos los pesos húmedos de los agregados:

$$\text{Peso húmedo del Agregado Fino: } \dots \dots \dots 732.5(1 + (3.17)/100) = 755.70 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso húmedo del Agregado Grueso: } \dots \dots \dots 1102.5(1 + 0.69/100) = 1110.70 \text{ Kg/m}^3$$

Determinamos la humedad superficial de los agregados:

$$\text{Humedad superficial del Agregado Fino: } \dots \dots \dots 3.17 \% - 2.40 \% = 0.77 \%$$

$$\text{Humedad superficial del Agregado Grueso: } \dots \dots \dots 0.69 \% - 2.20 \% = -1.51 \%$$

Determinamos el aporte de humedad de los agregados:

$$\text{Aporte de humedad del Agregado Fino: } \dots \dots \dots 732.5 \times 0.23 \% = 5.64 \text{ Lts/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Aporte de humedad del Agregado Grueso: } \dots \dots \dots 1102.5 \times -1.51 \% \\ = -16.65 \text{ Lts/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Total de Aporte de humedad de los Agregados: } \dots \dots \dots -11.01 \text{ Lts/m}^3$$

Como el Agregado tomo agua de la mezcla para llegar a su condición de saturado superficialmente seco, será necesario adicionar los -11.01 Lts/m^3 al agua de diseño para obtener el agua efectiva que hay que colocar en la mezcladora. De no hacerlo así, la mezcla se haría más seca, menos trabajable y más consistente, además que se modificaría la relación agua/cemento de diseño y las propiedades al estado endurecido.

$$\text{Agua efectiva: } \dots \dots \dots 193.00 + 11.01 = 204.01 \text{ Lts/m}^3$$

Por lo cual, los nuevos pesos de los materiales por metro cúbico de concreto, ya corregidos por humedad del agregado, a ser empleados en las mezclas de prueba son:

$$\text{Cemento: } \dots \dots \dots 316.40 \text{ Kg/m}^3$$

Agua efectiva: 204.01 Lts/m³

Agregado Fino Húmedo: 755.70 Kg/m³

Agregado Grueso Húmedo: 1110.70 Kg/m³

A.VII.1.11.3. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado Bien Lavado.

Sabiendo que:

Absorción del Agregado Fino (AF – BL): 2.12 %

Absorción del Agregado Grueso: 2.20 %

Conenido de Humedad del Agregado Fino: 3.17 %

Conenido de Humedad del Agregado Grueso: 0.69 %

Calculamos los pesos húmedos de los agregados:

Peso húmedo del Agregado Fino: 732.5(1 + 3.17/100) = 755.70 Kg/m³

Peso húmedo del Agregado Grueso: 1102.5(1 + 0.69/100) = 1110.70 Kg/m³

Determinamos la humedad superficial de los agregados:

Humedad superficial del Agregado Fino: 3.17 % – 2.12 % = 1.05 %

Humedad superficial del Agregado Grueso: 0.69 % – 2.20 % = –1.51 %

Determinamos el aporte de humedad de los agregados:

Aporte de humedad del Agregado Fino: 732.5 × 1.05 % = 7.69 Lts/m³

Aporte de humedad del Agregado Grueso: 1102.5 × –1.51 % = –16.65 Lts/m³

Total de Aporte de humedad de los Agregados: –8.96 Lts/m³

Como el Agregado toma agua de la mezcla para llegar a su condición de saturado superficialmente seco, será necesario adicionar los -8.96 Lts/m^3 al agua de diseño

para obtener el agua efectiva que hay que colocar en la mezcladora. De no hacerlo así, la mezcla se haría más seca, menos trabajable y más consistente, además que se modificaría la relación agua/cemento de diseño y las propiedades al estado endurecido.

$$\text{Agua efectiva: } \dots\dots\dots 193.00 + 8.96 = 201.96 \text{ Lts/m}^3$$

Por lo cual, los nuevos pesos de los materiales por metro cúbico de concreto, ya corregidos por humedad del agregado, a ser empleados en las mezclas de prueba son:

$$\begin{aligned} \text{Cemento: } & \dots\dots\dots 316.40 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Agua efectiva: } & \dots\dots\dots 201.96 \text{ Lts/m}^3 \\ \text{Agregado Fino Húmedo: } & \dots\dots\dots 755.70 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Agregado Grueso Húmedo: } & \dots\dots\dots 1110.70 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

A.VII.2 Ajuste de las proporciones de la tanda de prueba.

A.VII.2.1. Especificaciones

En el ítem 3.6.3.1 se indica las proporciones de cantidad de materiales para mezcla que han sido seleccionadas para obtener una consistencia plástica (un slump de 3" a 4"). El diseño ha indicado la necesidad de emplear las siguientes cantidades de materiales:

$$\begin{aligned} \text{Cemento: } & \dots\dots\dots 316.40 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Agua efectiva: } & \dots\dots\dots 204.64 \text{ Lts/m}^3 \\ \text{Agregado Fino Húmedo: } & \dots\dots\dots 755.70 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Agregado Grueso Húmedo: } & \dots\dots\dots 1110.70 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

Así requerimos conocer los ajustes que deberán efectuarse en la mezcla para lograr un rendimiento adecuado, el asentamiento deseado, mantener la relación agua/cemento y la resistencia de diseño.

A.VII.2.2. Tanda de ensayo

Se preparó la tanda de ensayo en el laboratorio para un volumen de 0.02 m^3 (3 especímenes cilíndricos de concreto), por lo que se consideró para esta tanda la siguiente cantidad de materiales:

$$\text{Cemento:} \dots \dots \dots 316.40 \times 0.02 = 6.33 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua efectiva:} \dots \dots \dots 204.64 \times 0.02 = 4.10 \text{ Lts}$$

$$\text{Agregado Fino Húmedo:} \dots \dots \dots 755.70 \times 0.02 = 15.11 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado Grueso Húmedo:} \dots \dots \dots 1110.70 \times 0.02 = 22.21 \text{ Kg}$$

El concreto así preparado, presentó para los tres tipos de tratamientos de concreto una consistencia fluida, por lo que fue necesario disminuir la cantidad teórica, por lo que se consideró añadir únicamente 3.7 litros de agua obteniendo así una consistencia plástica, en lugar de los 4.1 litros, cantidad teórica que debería haber sido el agua añadida. También se le determinó el peso unitario en estado fresco de 2385 Kg/m^3 ; Además se consideró a la mezcla sobregravosa para las condiciones que se habían predispuesto para el concreto.

A.VII.2.3. Pesos de la tanda de ensayo:

Los materiales para la tanda, para un volumen de 0.02 m^3 , con la corrección en el agua efectuada consistirían en:

$$\text{Cemento:} \dots \dots \dots 316.40 \times 0.02 = 6.33 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua añadida:} \dots \dots \dots = 3.70 \text{ Lts}$$

$$\text{Agregado Fino Húmedo:} \dots \dots \dots 755.70 \times 0.02 = 15.11 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado Grueso Húmedo:} \dots \dots \dots 1110.70 \times 0.02 = 22.21 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso de la tanda:} \dots \dots \dots = 47.35 \text{ Kg}$$

A.VII.2.4. Rendimiento de la tanda de ensayo:

El rendimiento de la tanda de ensayo será:

$$\text{Rendimiento de la tanda de ensayo: } \dots \dots \dots .47.35 / 2385 = 0.0199 \text{ m}^3$$

A.VII.2.5. Agua de mezclado por tanda:

A continuación se debe determinar la nueva cantidad de agua de mezclado por tanda:

Determinamos la humedad superficial de los agregados:

$$\text{Humedad superficial del Agregado Fino: } \dots \dots \dots 3.17 \% - 2.49 \% = 0.68 \%$$

$$\text{Humedad superficial del Agregado Grueso: } \dots \dots \dots 0.69 \% - 2.20 \% = -1.51 \%$$

Determinamos el aporte de humedad de los agregados:

$$\text{Aporte de humedad del Agregado Fino: } 732.5 \times 0.02 \times 0.68 \% = 0.1 \text{ Lts/tanda}$$

$$\text{Aporte de humedad del Agregado Grueso: } 1102.5 \times 0.02 \times -1.51 \% = -0.33 \text{ Lts/tanda}$$

$$\text{Total de Aporte de humedad de los Agregados por tanda: } -0.23 \text{ Lts/tanda}$$

Como el Agregado toma agua de la mezcla para llegar a su condición de saturado superficialmente seco, será necesario disminuir los 0.23 Lts/tanda al agua de mezclado para obtener el agua que conformaría la pasta cementante, la cual servirá para calcular el contenido de cemento mediante la relación agua/cemento que debería mantenerse constante.

$$\text{Agua de mezclado por tanda: } \dots \dots \dots 3.70 - 0.23 = 3.47 \text{ Lts/tanda}$$

A.VII.2.6. Agua de mezclado por m³ requerida:

La cantidad de agua de mezclado requerida por metro cúbico de concreto, con el mismo asentamiento de la tanda de ensayo, se obtendrá dividiendo el agua de mezclado por tanda entre el rendimiento de la tanda de ensayo.

$$\text{Agua de mezclado} \dots\dots\dots 3.47/0.0199 = 174.37 \text{ Lts/m}^3$$

A.VII.2.7. Nuevo contenido de cemento:

Como se determinó en el ítem 3.6.3.4 la relación agua/cemento es 0.61. Con la disminución en el agua de mezclado, se requerirá menos cemento para obtener la relación agua/cemento de 0.61, Por lo que el nuevo contenido de cemento será:

$$\text{Contenido de cemento:} \dots\dots\dots 174.37/0.61 = 285.85 \text{ Kg/m}^3$$

A.VII.2.8. Corrección en el agregado grueso:

En la elaboración de la mezcla de concreto, este fue encontrado sobre gravoso, por lo que la cantidad de agregado grueso por unidad de volumen deberá ser disminuida en 10 % tal como lo indica la **Tabla 3.6.3.8.1**

Originalmente la relación b/b_0 era de 0.671 como se determinó en el ítem 3.6.3.8, Efectuada la corrección indicada este se disminuye a 0.604, considerando un peso compactado de 1644 Kg/m³ para el agregado grueso la corrección del agregado grueso será:

Nuevo Peso del Agregado grueso por metro cúbico

$$= \frac{b}{b_0} \times \text{Peso unitario compactado (Promedio AG - SL, AG - ML, AG - BL)}$$

$$\text{Peso del Agregado grueso por metro cúbico} = 0.604 \times 1644 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso del Agregado grueso por metro cúbico} = 992.98 \text{ Kg/m}^3$$

A.VII.2.9. Corrección por el método de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso.

Conocidos los pesos del cemento, agua y agregado grueso, así como el volumen de aire, se procede a calcular la suma de los volúmenes absolutos de estos materiales:

$$\text{Vol. Absoluto de Cemento: } \dots \dots \dots 285.85/3100 = 0.092 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Absoluto de Agua: } \dots \dots \dots 174.37/1000 = 0.174 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Absoluto de Agregado Grueso: } \dots \dots 992.98 /2680 = 0.371 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Absoluto de Aire Atrapado: } \dots \dots \dots 1.5/100 = 0.015 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes conocidos: } \dots \dots \dots = 0.653 \text{ m}^3$$

Determinación del Contenido de Agregado Fino:

El volumen absoluto de agregado fino será igual a la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos. El peso del agregado fino será igual a su volumen absoluto multiplicado por su peso específico.

$$\text{Volumen Absoluto de Agregado Fino: } 1 - 0.653 = 0.347 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del agregado fino seco} = 0.2785 \times 2630 = 912.610 \text{ Kg/m}^3$$

Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso:

Las cantidades de materiales a ser empleadas como valores de diseño serán:

$$\text{Cemento: } \dots \dots \dots 285.85 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agua de diseño: } \dots \dots \dots 174.37 \text{ Lts/m}^3$$

$$\text{Agregado Fino Seco: } \dots \dots \dots 912.61 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso Seco: } \dots \dots 992.98 \text{ Kg/m}^3$$

A.VII.2.10. Corrección de los nuevos valores de diseño por humedad.

Sabiendo que:

Absorción del Agregado Fino:2.49%

Absorción del Agregado Grueso:2.20%

Concenido de Humedad del Agregado Fino:3.17%

Concenido de Humedad del Agregado Grueso:0.69%

Calculamos los pesos húmedos de los agregados:

Peso húmedo del Agregado Fino: $912.61(1 + 3.17/100) = 941.54 \text{ Kg/m}^3$

Peso húmedo del Agregado Grueso: $992.98(1 + 0.69/100) = 999.83 \text{ Kg/m}^3$

Determinamos la humedad superficial de los agregados:

Humedad superficial del Agregado Fino: $3.17 \% - 2.49 \% = 0.68 \%$

Humedad superficial del Agregado Grueso: $0.69 \% - 2.20 \% = -1.51 \%$

Determinamos el aporte de humedad de los agregados:

Aporte de humedad del Agregado Fino: $912.61 \times 0.68 \% = 6.20 \text{ Lts/m}^3$

Aporte de humedad del Agregado Grueso: $992.98 \times -1.51 \% = -14.99 \text{ Lts/m}^3$

Total de Aporte de humedad de los Agregados: -8.79 Lts/m^3

Como el Agregado toma agua de la mezcla para llegar a su condición de saturado superficialmente seco, será necesario adicionar los 8.79 Lts/m^3 al agua de diseño para obtener el agua efectiva que hay que colocar en la mezcladora. De no hacerlo así, la mezcla se haría más seca, menos trabajable y más consistente, además que se modificaría la relación agua/cemento de diseño y las propiedades al estado endurecido.

Agua efectiva: $174.37 + 8.79 = 183.16 \text{ Lts/m}^3$

Por lo cual, los nuevos pesos de los materiales ajustados por metro cúbico de concreto, ya corregidos por humedad del agregado, a ser empleados en las mezclas son:

Cemento: 285.85 Kg/m³

Agua efectiva: 183.16 Lts/m³

Agregado Fino Húmedo: 941.54 Kg/m³

Agregado Grueso Húmedo: 999.83 Kg/m³

A.VII.2.11. Proporción de materiales en peso

La proporción de materiales corregidos por humedad del agregado serían:

$$\frac{285.85}{285.85} : \frac{941.54}{285.85} : \frac{999.83}{285.85} / \frac{183.16}{285.85} \times 42.5 = 1 : 3.29 : 3.50 / 27.23 \text{ lts/bolsa}$$

A.VII.3 Proporción de materiales en volumen

A.VII.3.1. Pesos unitarios húmedos del agregado

Como se va convertir una dosificación ya corregida por humedad del agregado, es necesario determinar los pesos unitarios sueltos húmedos de los agregados fino y grueso. Para Ello se deberá multiplicarse el peso unitario suelto seco de cada uno de los agregados por el contenido de humedad del mismo.

Como se determinó en los ítems 3.3.7.2 y 3.3.6 tenemos que:

Peso unit. vol. suelto seco del A. F (Prom. AF – SL, AF – ML, AF – BL): 1472 Kg/m³

Humedad natural del A. F (Promedio AF – SL, AF – ML, AF – BL): 3.17 %

Peso unit. vol. suelto seco del A. G (Prom. AG – SL, AG – ML, AG – BL): 1529 Kg/m³

Humedad natural del A. G (Promedio AG – SL, AG – ML, AG – BL): 0.69 %

Los pesos unitarios sueltos húmedos de los agregados serán:

$$\text{Peso unitario suelto del Agregado Fino Húmedo: } \dots 1472 \times 1.0317 = 1518.6 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso unitario suelto del Agregado Grueso Húmedo: } \dots 1529 \times 1.0069 = 1539.6 \text{ Kg/m}^3$$

A.VII.3.2. Dosificación en volumen para un m³ de concreto

Para poder determinar el costo de una partida de 1 m³ de concreto con la dosificación de materiales que se ha calculado, es necesario, calcular los agregados en un volumen unitario suelto en condición húmeda, tal como se determina a continuación:

$$\text{Cemento: } \dots \dots \dots 285.85/42.5 = 6.73 \text{ bolsas/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva: } \dots \dots \dots 183.16/1000 = 0.183 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado Fino Húmedo Suelto: } \dots \dots \dots 941.54/1518.6 = 0.620 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso Húmedo Suelto: } \dots \dots \dots 999.83/1539.6 = 0.650 \text{ m}^3$$

A.VII.3.3. Cantidad de materiales por tanda

A partir de la relación en peso de 1:3.29:3.50/27.23 lts × bolsa, que se determinó en el ítem A.VII.2.11, se puede determinar la cantidad de materiales necesario para preparar una tanda de concreto a base de una bolsa de cemento:

$$\text{Cemento: } \dots \dots \dots 1 \times 42.5 = 42.5 \text{ Kg/bolsa}$$

$$\text{Agua efectiva: } \dots \dots \dots = 27.23 \text{ Lts/bolsa}$$

$$\text{Agregado Fino Húmedo: } \dots \dots \dots 3.29 \times 42.5 = 139.83 \text{ Kg/bolsa}$$

$$\text{Agregado Grueso Húmedo: } \dots \dots \dots 3.50 \times 42.5 = 148.75 \text{ Kg/bolsa}$$

A.VII.3.4. Peso por pie cúbico del agregado

Conocidos los pesos unitarios sueltos húmedos de los dos agregados; y sabiendo que un metro cúbico es equivalente aproximadamente a 35 pies cúbicos, se deberá dividir estos pesos unitarios entre los 35 pies cúbicos para obtener el peso por pie

cúbico de cada uno de los dos agregados. Por lo que los peso en pies cúbicos serian:

Del Agregado Fino Húmedo:1518.6/35 = 43.39 Kg/pie cúbico

Del Agregado Grueso Húmedo:1539.6/35 = 43.99 Kg/pie cúbico

De la bolsa de Cemento: = 42.5 Kg/pie cúbico

A.VII.3.5. Proporción de materiales en volumen

Conocidos los pesos por pie cúbico de los diferentes materiales en la mezcla, bastará dividir los pesos de cada uno de los materiales en la tanda de una bolsa entre los pesos por pie cúbico para obtener el número de pies cúbicos necesarios para preparar una tanda de una bolsa.

Cemento: 42.5/42.5 = 1.0 pies cúbicos

Agregado Fino Húmedo suelto:139.83/43.39 = 3.22 pies cúbicos

Agregado Grueso Húmedo suelto....148.75/43.99 = 3.38 pies cúbicos

Entonces, la dosificación en volumen, corregida por humedad del agregado, equivalente a la dosificación en peso será:

1: 3.22: 3.38/27.23 lts × bolsa

ANEXO VIII
CÁLCULOS DE LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE MMF
EN EL AGREDO GLOBAL DE LOS TRATRAMIENTOS

A.VIII.1 Tratamiento 1: Concreto con Agregado Global Sin Lavado o C-SL
(2.21% MMF)

Sabiendo que el %MMF de los Agregados Sin Lavado es:

%MMF del Agregado Fino Sin Lavar:3.61%

%MMF del Agregado Grueso Sin Lavar:0.93%

Y tendríamos en cuenta dosificación de los agregados en estado seco, ya que el %MMF está calculado respecto a los agregados en estado seco.

Agregado Fino Sin Lavar Seco:912.61 Kg/m³

Agregado Grueso Sin Lavar Seco:992.98 Kg/m³

La cantidad de MMF del agregado global:

MMF del Agregado Fino Sin Lavar:912.61 × 3.61/100 = 32.95 Kg/m³

MMF del Agregado Grueso Sin Lavar:992.98 × 0.93/100 = 9.23 Kg/m³

MMF del Agregado Global Sin Lavar: = 42.19 Kg/m³

% MMF del Agregado Global Sin Lavar: ... 42.19/(912.61 + 992.98) × 100
= 2.21%

A.VIII.2 Tratamiento 2: Concreto con Agregado Global Medio Lavado o C-ML
(1.24% MMF)

Sabiendo que el %MMF de los Agregados Medio Lavado es:

%MMF del Agregado Fino Medio Lavado:1.97 %

%MMF del Agregado Grueso Medio Lavado:0.56 %

Y tendríamos en cuenta dosificación de los agregados en estado seco, ya que el %MMF está calculado respecto a los agregados en estado seco.

Agregado Fino Medio Lavado Seco:912.61 Kg/m³

Agregado Grueso Medio Lavado Seco:992.98 Kg/m³

La cantidad de MMF del agregado global:

MMF del Agregado Fino Medio Lavado:912.61 × 1.97/100 = 17.98 Kg/m³

MMF del Agregado Grueso Medio Lavado:992.98 × 0.56/100 = 5.56 Kg/m³

MMF del Agregado Global Medio Lavado: = 23.54 Kg/m³

% MMF del Agregado Global Medio Lavado: 23.54/(912.61 + 992.98) × 100
= 1.24%

A.VIII.3 Tratamiento 3: Concreto con Agregado Global Bien Lavado o C-BL(0.23% MMF)

Sabiendo que el %MMF de los Agregados Bien Lavado es:

%MMF del Agregado Fino Bien Lavado:0.27%

%MMF del Agregado Grueso Bien Lavado:0.20 %

Y tendríamos en cuenta dosificación de los agregados en estado seco, ya que el %MMF está calculado respecto a los agregados en estado seco.

Agregado Fino Bien Lavado Seco:912.61 Kg/m³

Agregado Grueso Bien Lavado Seco:992.98 Kg/m³

La cantidad de MMF del agregado global:

MMF del Agregado Fino Bien Lavado:912.61 × 0.27/100 = 2.46 Kg/m³

MMF del Agregado Grueso Bien Lavado:992.98 × 0.20/100 = 1.99 Kg/m³

MMF del Agregado Global Bien Lavado: = 4.45 Kg/m³

% MMF del Agregado Global Bien Lavado: 4.45/(912.61 + 992.98) × 100
= 0.23%

ANEXO IX

CONSTANCIA DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Norte de la Universidad Peruana
Fundada por Ley 1405 del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE INGENIERIA
Telefax N° 0051-76-82-5976 Anexo N° 129-130/ 140
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



**EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE
MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

CONSTANCIA


Que el Bach. en Ing.: **TEJADA ARIAS, Luis Matías** ex alumno de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca ha realizado su asistencia al laboratorio de Ensayo de Materiales para la elaboración de la tesis profesional: "Estudio de la influencia de material muy fino de los agregados en la resistencia a compresión del concreto" en el siguiente periodo:

Del 16 de Junio al 23 de Agosto del 2013

El laboratorio no se responsabiliza por la ejecución y los resultados de los ensayos realizados.

Se expide el presente a solicitud verbal del interesado para los fines que estime por conveniente.

Cajamarca, 28 de noviembre de 2013.


Ing. Roberto Mosqueira Ramirez
JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNC

ANEXO X PRESENTACIÓN FOTOGRÁFICA



Foto 01: Obtención del agregado para los distintos tratamientos del agregado en la cantera "Huayrapongo"



Foto 02: Lavado de la agregado para obtener los distintos tipos de agregado



Foto 03: Agregado Fino Medio Lavado



Foto 04: Agregado Fino Bien Lavado



Foto 05: Tipos de Tratamientos de Agregado.



Foto 06: Almacenamiento de Agregados en sacos para mantener la humedad constante y evitar la pérdida de MMF.



Foto 07: Método del cuarteo para obtener una muestra de Agregado Grueso más representativa

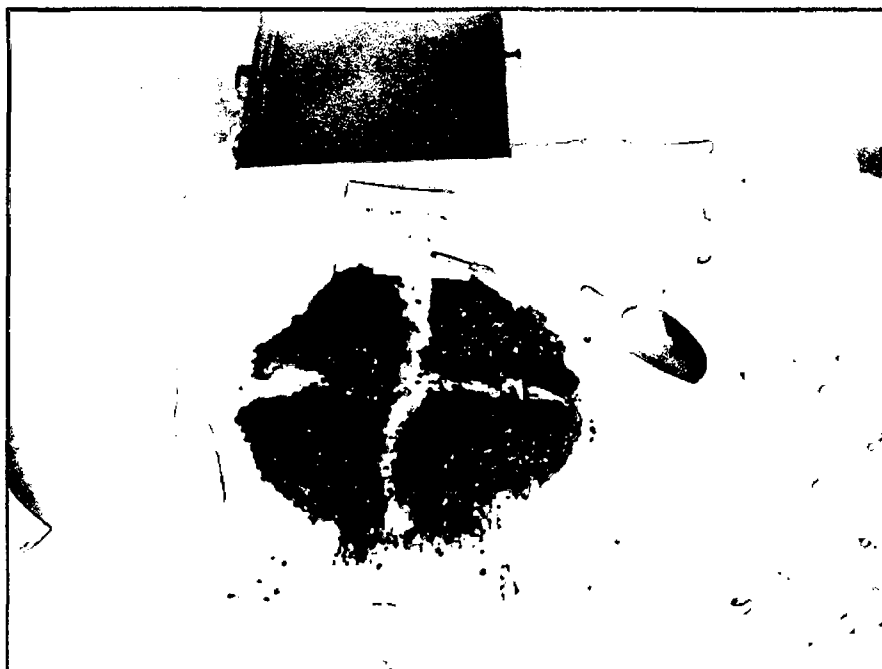


Foto 08: Método del cuarteo para obtener una muestra de Agregado Fino más representativa

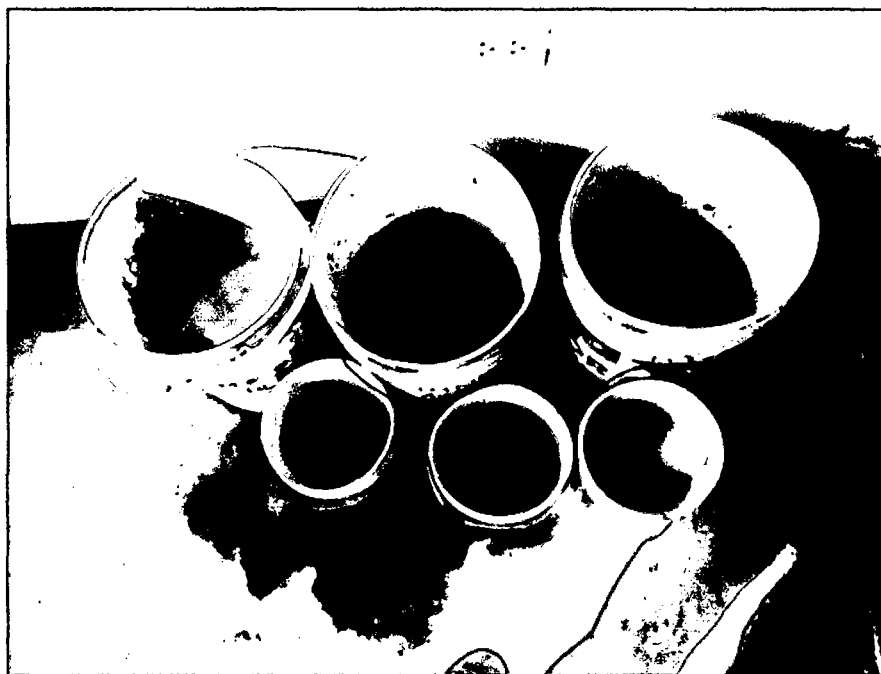


Foto 09: Método para determinar la absorción de los agregados que implicaría la pérdida de MMF



Foto 10: Ensayo para determinar la granulometría de los agregados



Foto 11: Ensayo para determinar la cantidad de MMF en el Agregado Grueso.

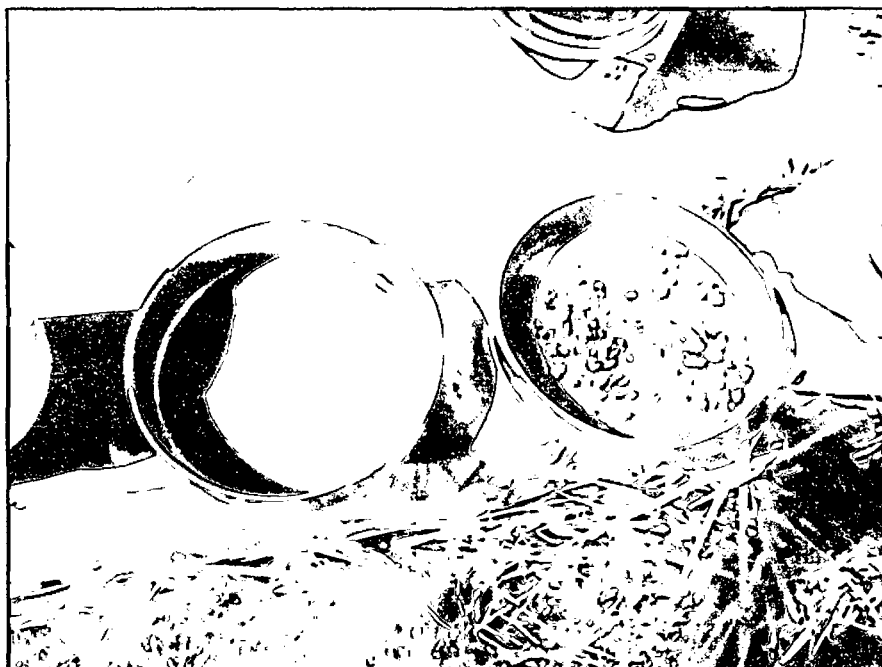


Foto 12: Ensayo para determinar la cantidad de MMF en el Agregado Fino.

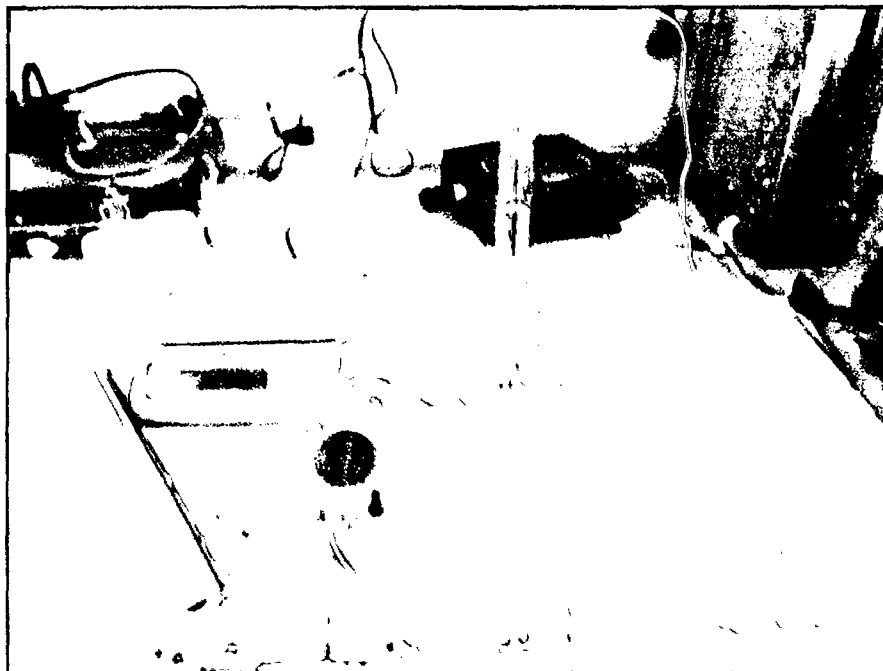


Foto 13: Control de la temperatura para la calibración del picnómetro.



Foto 14: Elaboración de las tandas de concreto.



Foto 15: Elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto

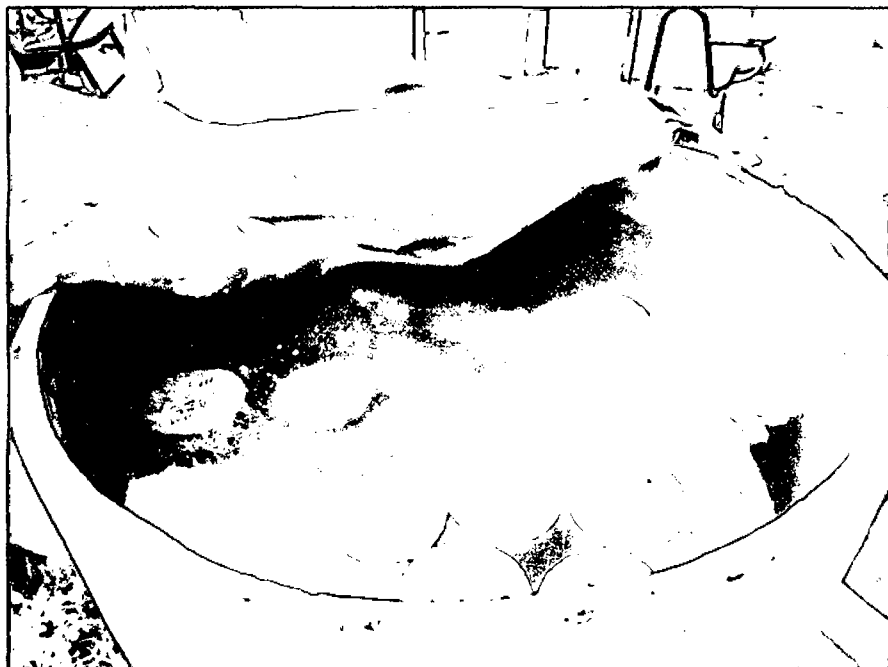


Foto 16: Curado de los especímenes en agua saturada con cal viva.



Foto 17: *Ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto.*



Foto 18: *Estudio del modo de falla del concreto en las caras de fractura.*