

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

**“CONCRETO AUTOCURABLE DE ALTA RESISTENCIA
F´c=420 Kg/Cm2, CON UN PORCENTAJE DE TRAQUITA EN
EL AGREGADO GRUESO COMPARADO CON LOS
PROCESOS MAS USADOS DE CURADO”**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL**

AUTOR:

Bach. SALAZAR PRETELL, Fiorela Solange

ASESOR:

M. en Ing. Héctor Albarino Pérez Loayza

Cajamarca – Perú

2017

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tal especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mis amados padres German y Gladys, con mucho cariño e infinita gratitud por ser impulsores de mi formación académica y moral y motivándome a dar siempre un paso más.

Solange.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Académico – Profesional de Ingeniería Civil, a sus autoridades, docentes, directores, personal en general; por albergarme en sus aulas, formándome en valiosos conocimientos.

Al M. en I. Ing. Héctor Pérez Loayza, asesor de la presente tesis, quien supo guiarme y encaminarme en la elaboración de este trabajo y es siempre un gran apoyo.

Al Jurado de esta tesis; MCs. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas, MCs Ing. Hector Hugo Miranda Tejada, Ing. Wilder Max Narro Martos por las sugerencias, aportes y observaciones realizadas.

A mis queridos padres German y Gladys por el apoyo durante mis estudios en sus diferentes etapas; especialmente en mis estudios universitarios, de forma especial a mi padre quien ha sido mi incondicional compañía en este largo camino.

A mis hermanos Leslie, Daniela por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar; por llenar mi vida de alegrías y amor en todo momento.

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

Solange.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	iii
LISTA DE TABLAS	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
CAPITULO I. INTRODUCCION.....	1
1.1. Descripción del proyecto y planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema.	2
1.3. Justificación de la investigación.	2
1.4. Delimitación de la investigación.....	2
1.5. Limitaciones de la investigación.....	3
1.6. Hipótesis.	3
1.7. Alcances.....	3
1.8. Objetivos.....	4
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación.	5
2.2. Bases teóricas.....	7
2.3. Definición de términos básicos.....	45
CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS.....	48
3.1 Localización.....	48
3.2 Metodología.....	49
3.3 Materiales y Equipos.....	52
3.4 Técnicas, instrumentos de recopilación y procesamiento de información.	53
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	64
4.1 Resultados de las propiedades físicas de los agregados.....	64
4.2 Diseño de mezcla.	65
4.3 Peso unitario del concreto.....	68
4.4 Humedad del concreto.	69
4.5 Resistencia a compresión.....	71
4.6 Resistencia a flexión.	74
4.7 Análisis estadístico e interpretación de los resultados.....	75
4.8 Análisis del costo de la elaboración de concreto por metro cúbico.....	89
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	90
5.1 CONCLUSIONES.....	90
5.2 RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIAS	94

ANEXOS	97
ANEXO I: Cálculos y resultados de los análisis físicos de los agregados.	97
ANEXO II: Diseño de mezclas de concreto usando el método del módulo de finura de la combinación de agregados.....	109
ANEXO III: Cálculos y resultados de los ensayos de peso unitario del concreto	117
ANEXO IV: Cálculos y resultados de la humedad del concreto a diferentes curados.	121
ANEXO V: Cálculos y resultados de los ensayos de la resistencia a compresión	124
ANEXO VI: Cálculos y resultados grafica esfuerzo / deformación.....	130
ANEXO VII: Cálculos y resultados de los ensayos de la resistencia a flexión	145
ANEXO VIII: Análisis precios unitarios.....	146
ANEXO IX: Panel fotográfico.	147
ANEXO X: Ficha técnica del cemento portland tipo I.....	152
ANEXO X: Ficha técnica del aditivo plastificante Chema Plast	153
ANEXO XI. Ficha técnica del aditivo Sika Cem Curador.	155
ANEXO XII: Constancia del laboratorio de ensayos de materiales.....	157

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de especímenes ensayo de compresión.	50
Tabla 2. Cantidad de especímenes ensayo de flexión ..	50
Tabla 3. Límites granulométricos para el agregado fino.	54
Tabla 4. Límites granulométricos para el agregado grueso.	55
Tabla 5. Tolerancia permisible de tiempo de ensayo según la edad	61
Tabla 6. Resumen de las propiedades físicas del agregado fino.	64
Tabla 7. Resumen de las propiedades físicas del agregado grueso	64
Tabla 8. Resumen de las propiedades físicas de la traquita.....	65
Tabla 9. Resumen de las propiedades físicas de la traquita.....	65
Tabla 10. Módulo de finura de combinación de agregados.....	66
Tabla 11. Peso unitario del concreto a diferentes % de traquita.....	68
Tabla 12. Humedad del concreto a diferentes % de traquita y tiempos.	69
Tabla 13. Humedad del concreto a diferentes % proceso de curado y tiempos.	70
Tabla 14. Resistencia máxima a compresión a diferentes % de traquita y tiempos.	71
Tabla 15. Resistencia máxima a compresión a procesos de curado y tiempos.	72
Tabla 16. Análisis de la varianza de la humedad del concreto endurecido a 7 días.	75
Tabla 17. Medias de la humedad del concreto endurecido a 7 días.	75
Tabla 18. Agrupación de información de la humedad del concreto endurecido a 7D ...	76
Tabla 19: Análisis de la varianza de la humedad del concreto endurecido a 14 días.....	77
Tabla 20. Medias de la humedad del concreto endurecido a 14 días.	77
Tabla 21. Agrupación de la humedad del concreto endurecido a 14 días,	78
Tabla 22. Análisis de la varianza de la humedad del concreto endurecido a 28 días.	79
Tabla 23. Medias de la humedad del concreto endurecido a 28 días.	79
Tabla 24. Agrupación de de la humedad del concreto endurecido a 28 días	80

Tabla 25. Análisis de la varianza de la resistencia a compresión del concreto a 7 días.	81
Tabla 26. Medias de la resistencia a compresión del concreto a 7 días.	81
Tabla 27: Agrupación de la resistencia a compresión del concreto e a 7 días,	82
Tabla 28. Análisis de la varianza de la resistencia a compresión a 14 días.....	83
Tabla 29: Medias de la resistencia a compresión del concreto a 14 días.	83
Tabla 30: Agrupación de la resistencia a compresión del concreto a 14 días,	84
Tabla 31. Análisis de la varianza de la Fc del concreto a 28 días	85
Tabla 32. Medias de la resistencia a compresión del concreto a 28 días.	85
Tabla 33. Agrupación de la resistencia a compresión del concreto a 28 días,	86
Tabla 34. Análisis de la varianza de la resistencia a flexión del concreto.	87
Tabla 35. Medias de la resistencia a flexión del concreto.	87
Tabla 36. Agrupación de información de la resistencia a flexión del concreto	88
Tabla 37, 38, 39 . Análisis granulométrico del agregado fino.....	96, 977
Tabla 40, 41, 42 . Análisis granulométrico del agregado grueso	99,99,100
Tabla 43 . Peso específico y absorción del agregado fino.....	102
Tabla 44 . Peso específico y absorción del agregado grueso.....	103
Tabla 45 . Peso específico y absorción del traquita.....	104
Tabla 46, 47 . Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.	105
Tabla 48, 49. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.	106
Tabla 50, 51 . Contenido de humedad agregado fino y grueso	107
Tabla 52. Material fino que pasa el tamiz N°200.	108
Tabla 53. Resistencia a la abrasión.....	108
Tabla 54. Peso unitario del concreto fresco –mezcla patrón.	117
Tabla 55. Peso unitario del concreto fresco –mezcla patrón+7% de traquita.....	118
Tabla 56. Peso unitario del concreto fresco –mezcla patrón+12% de traquita.....	119
Tabla 57. Peso unitario del concreto fresco –mezcla patrón+17% de traquita.....	120
Tabla 58. Humedad del concreto a 7 días –curado inmersión.....	121
Tabla 59. Humedad del concreto a 7 días –curado sika sem curador.....	121
Tabla 60. Humedad del concreto a 7 días –curado: traquita 7%.	121
Tabla 61. Humedad del concreto a 7 días –curado: traquita 12%.	121
Tabla 62. Humedad del concreto a 7 días –curado: traquita 17%.	122
Tabla 63. Humedad del concreto a 14 días –curado inmersión.....	122
Tabla 64. Humedad del concreto a 14 días –curado sika sem curador.....	122
Tabla 65. Humedad del concreto a 14 días –curado: traquita 7%.	122
Tabla 66. Humedad del concreto a 14 días –curado: traquita 12%.	123
Tabla 67. Humedad del concreto a 14 días –curado: traquita 17%.	123
Tabla 68. Humedad del concreto a 28 días –curado inmersión.....	123
Tabla 69. Humedad del concreto a 28 días –curado sika sem curador.....	123
Tabla 70. Humedad del concreto a 28 días –curado: traquita 7%.	124
Tabla 71. Humedad del concreto a 28 días –curado: traquita 12%.	124
Tabla 72. Humedad del concreto a 14 días –curado: traquita 17%.	124
Tabla 73. Resistencia a compresión a 7 días –curado: inmersión.	124
Tabla 74. Resistencia a compresión a 7 días –curado: sika sem curador.	125
Tabla 75. Resistencia a compresión a 7 días – curado: traquita 7%.....	125

Tabla 76. Resistencia a compresión a 7 días – curado: traquita 12%.....	125
Tabla 77. Resistencia a compresión a 7 días – curado: traquita 17%.....	126
Tabla 78. Resistencia a compresión a 14 días –curado: inmersión.	126
Tabla 79. Resistencia a compresión a 14 días –curado: sika sem curador.	126
Tabla 80. Resistencia a compresión a 14 días – curado: traquita 7%.....	127
Tabla 81. Resistencia a compresión a 14 días – curado: traquita 12%.....	127
Tabla 82. Resistencia a compresión a 14 días – curado: traquita 17%.....	127
Tabla 83. Resistencia a compresión a 28 días –curado: inmersión.	128
Tabla 84. Resistencia a compresión a 28 días –curado: sika sem curador.	128
Tabla 85. Resistencia a compresión a 14 días – curado: traquita 7%.....	128
Tabla 86. Resistencia a compresión a 28 días – curado: traquita 12%.....	129
Tabla 87. Resistencia a compresión a 28 días – curado: traquita 17%.....	129
Tabla 88 . Resistencia a compresión esf/def a 28 días –curado: inmersión PI.....	130
Tabla 89. Resistencia a compresión esf/def a 28 días –curado: inmersión PI-8	131
Tabla 90 . Resistencia a compresión esf/def a 28 días –curado: inmersión PI-9.	132
Tabla 91 . Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días – PC-7.	133
Tabla 92. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –PC-8.	134
Tabla 93. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días – PC-9.	135
Tabla 94 . Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –MTA-15.	136
Tabla 95. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días – MTA-16.	137
Tabla 96 . Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –MTA-18.	138
Tabla 97 . Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días – MTB-16.	139
Tabla 98. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –MTB-17.	140
Tabla 99. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –MTB-18.	141
Tabla 100. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días – MTB-16.	142
Tabla 101. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días – MTB-17.	143
Tabla 102. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –MTB-18.	144
Tabla 103. Resistencia a flexión a 28 días –curado: inmersión.....	145
Tabla 104. Resistencia a flexión a 28 días –curado:traquita.	145

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. esfuerzo-deformación unitaria (esfuerzo-deformación unitaria o específica) 12	12
Figura 2. Curva genérica de esfuerzo-deformación unitaria del concreto.....	12
Figura 3. Cambios de volumen por contracción química y contracción autógena	14
Figura 4. Relación entre contracción autógena y contracción química de la pasta	15
Figura 5. Relación volumétrica	16
Figura 6 Ilustración esquemática de los movimientos de la humedad en el concreto....	17
Figura 7. Cambio de longitud de concreto para diferentes regímenes de curado	18
Figura 8. Análisis del desarrollo de la hidratación (α) de una pasta de cemento	21
Figura 9. Análisis del desarrollo de la hidratación (α) de una pasta de cemento	21
Figura 10. Distribución de la humedad relativa	23
Figura 11. Efecto del tiempo de curado húmedo sobre el desarrollo de la resistencia ..	30
Figura 12: Grafico del Concepto de curado interno y curado externo.	34

Figura 13. Efecto del curado interno en la retracción autógena	42
Figura 14. Efecto del curado interno de agrietamiento en morteros y concretos	43
Figura 15. Fotografía Satelital de la Ubicación	48
Figura 16: Secuencia del proceso de investigación del trabajo de graduación.	51
Figura 17 . Patrones típicos de fractura, Adoptado de la Norma ASTM C 39.....	62
Figura 18. Grafica peso unitario vs % traquita.....	68
Figura 19. Gráfica humedad de concreto con % traquita vs Tiempo.	70
Figura 20. Gráfica humedad de concreto a diferentes procesos de curado vs Tiempo. ..	70
Figura 21. Gráfica ensayo a compresión del concreto con % traquita vs Tiempo.	71
Figura 22. Gráfica ensayo a compresión del concreto a diferentes procesos de curado	72
Figura 23 Grafica resistencia máxima a compresión del concreto	73
Figura 24. Grafica vs % de traquita a los 28 días.	73
Figura 25. Módulo de elasticidad resistencia a la compresión.	74
Figura 26. Resistencia a Flexión.....	75
Figura 27. Gráficas de intervalos para agrupaciones del % de humedad a 7 días.....	76
Figura 28. Gráficas de valores individuales y cajas de % de humedad a 7 días.....	76
Figura 29. Gráficas de intervalos para agrupaciones del % de humedad a 4 días	78
Figura 30: Gráficas de valores individuales y cajas de % de humedad a 14 días.	78
Figura 31. Gráficas de intervalos para agrupaciones del % de humedad a 28 días.	80
Figura 32. Gráficas de valores individuales y cajas de % de humedad a 28 días.....	80
Figura 33: Gráficas para agrupaciones de la resistencia a compresión a 7 días	82
Figura 34. Gráficas cajas de la resistencia a compresión a los 7 días de edad.....	82
Figura 35. Gráficas para agrupaciones de la resistencia a compresión a los 14 días ...	84
Figura 36. Gráficas cajas de la resistencia a compresión a los 14 días de edad.	84
Figura 37. Gráficas de intervalos de la resistencia a compresión a los 28 días de edad.	86
Figura 38- Gráficas cajas de la resistencia a compresión a los 28 días de edad.....	86
Figura 39. Gráficas de intervalos para agrupaciones de la resistencia a flexión.	88
Figura 40 Gráficas de valores individuales y cajas de la a flexión.....	88
Figura 41, 42, 43. Granulometría del Agregado Fino con el HUSO	97, 96
Figura 44, 45, 46. Granulometría del Agregado Grueso con el HUSO N° 56	100, 99
Figura 47. Fotografía del Ensayo Análisis Granulométrico.	147
Figura 48. Fotografía del Ensayo Peso Específico del Agregado Grueso.	147
Figura 49. Fotografía de la Reducción de muestras por el método del cuarteo.	148
Figura 50. Fotografía del Ensayo Cono De Absorción De Arenas.	148
Figura 51. Fotografía del Ensayo Peso Específico del Agregado Fino.	148
Figura 52 . Fotografía de Fragmentos Traquita Saturada por 3 días.	149
Figura 53. Fotografía de la prueba de abran para el concreto fresco.....	149
Figura 54. Fotografía de los especímenes prismáticos	149
Figura 55. Fotografía del Curado Interno de las Probetas de Concreto	150
Figura 56. Fotografía de la Máquina de Ensayo de Resistencia a Compresión.	150
Figura 57. Fotografía de la Falla de las Probetas.	151
Figura 58. Fotografía de la Máquina de Ensayo a Flexión.....	151
Figura 59. Fotografía de la Distribución de la Traquita	151

RESUMEN

El concreto de alta resistencia es un concreto de características especiales, sus materiales deben tener un estricto control de calidad tanto para su selección y a su vez en el proceso de mezclado, la utilización de aditivos y principalmente en el proceso de curado pues se realiza de manera superficial, comúnmente por humedecimiento o por rociado de aditivo generador de membrana; pero no, se conoce la efectividad de estos tipos de curados en el desarrollo a la resistencia a compresión y flexión. Por lo cual existe una necesidad de saber la influencia de los tipos de curado del concreto más comunes en su desarrollo de la resistencia a compresión, flexión y/o buscar nuevos métodos más efectivos de curado.

El objetivo de esta investigación es determinar la efectividad que tiene el curado interno reemplazando parcialmente el agregado grueso por fragmentos de traquita; evaluando el estudio del porcentaje de humedad, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión; a comparación del curado por inmersión y el curado con curador químico. Se lo realizó con diferentes porcentajes de reemplazo de agregado grueso por traquita; este material fue obtenido reciclablemente de las esculturas talladas en traquita en la ciudad de Cajamarca. Se evalúa tres porcentajes de fragmentos: 7%, 12% y 17% del volumen de agregado grueso; para una resistencia de $f'c$: 420 Kg/cm². Se concluyó que el curado interno mediante el reemplazo del agregado grueso por fragmentos de traquita saturado es efectivo, mostrándonos que el menor porcentaje propuesto (7%) de reemplazo los resultados son mejores aumento de resistencia a compresión y flexión del concreto, 470.7 Kg/cm² y 53.25 Kg/cm² a los 28 días de edad respectivamente, mientras que el curado por inmersión nos muestra resultados ligeramente similares: 466.89 Kg/cm² y 48.52 Kg/cm².

PALABRAS CLAVE:

Traquita, curado interno, efectividad, Retención de Humedad, resistencia a compresión, Resistencia a Flexión.

ABSTRACT

The high strength concrete is a concrete with special characteristics, its materials must have a strict quality control for its selection and at the same time in the mixing process, the use of additives and mainly in the curing process due to it will be done in a surface way, commonly by wetting or by spraying of additive which generates a membrane; but it is not known the effectiveness of these types of curing in the development to the compressive and flexural strength. Therefore, there is a need to know the influence of the most common types of concrete curing in their development of compressive, flexural strength and / or to seek new more effective curing methods.

The objective of this research is to determine the effectiveness of internal curing by partially replacing the coarse aggregate with trachyte fragments; evaluating the study of the humidity percentage, compressive strength and flexural strength; to comparison of immersion curing and curing with chemical curator. It was made with different percentages of replacement of coarse aggregate per trachyte; this material was obtained recyclable from the sculptures carved in trachy in the city of Cajamarca. It is evaluated three percentages of fragments: 7%, 12% and 17% of the volume of coarse aggregate; for a resistance of f'_c : 420 kg / cm². It was concluded that the internal curing by replacing the coarse aggregate with saturated trachyte fragments is effective, showing that the lower percentage proposed (7%) of replacement results in a better increase in compressive strength and flexural strength of the concrete, 470.7 kg / cm² and 53.25 Kg / cm² at 28 days of age respectively, while the immersion curing shows slightly similar results: 466.89 kg / cm² and 48.52 kg / cm².

KEY WORDS:

Trachyte, internal curing, effectiveness, Humidity retention, compressive strength, flexural strength

CAPITULO I. INTRODUCCION.

1.1.Descripción del proyecto y planteamiento del problema.

El concreto es una mezcla de cemento, agregados, agua y aditivos, moldeables con características muy particulares en proporciones adecuadas se obtiene la resistencia requerida, cuando esta resistencia es mayor 350 Kg/cm² son considerando como concretos de alta resistencia. En el concreto debe realizarse un curado que es el mantenimiento adecuado en el contenido de humedad y temperatura en el concreto a edades tempranas par que pueda desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla. El curado comienza inmediatamente después del vaciado y acaba de manera que el concreto pueda desarrollar la resistencia y la durabilidad deseada.

En los concretos se realiza un curado de manera superficial, ya sea un curado por humedecimiento superficial durante los primeros días de edad o por rociado de compuestos líquidos formadores de membrana impermeable. Sin embargo, no se conoce la efectividad de estos tipos de curado en el desarrollo a la resistencia del concreto. Existiendo dudas sobre su eficacia, ya que comúnmente se observan problemas de agrietamiento en losas o estructuras expuestas a la intemperie en las construcciones realizadas, lo cual, puede ser causa de un curado no adecuado del concreto. Se presentan ocasionalmente resistencias a compresión de muestras extraídas con diamantina, de concretos en obra, inferiores a las requeridas según las especificaciones técnicas, lo cual podría demostrar al ser las mismas mezclas de concreto, las resistencias obtenidas del concreto en servicio serían inferiores por falta de un curado óptimo en obra. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.033, 2009), conducen a un curado deficiente esta investigación determinara una posible solución ante esta problemática a fin de contribuir a la optimización de la resistencia del concreto.

En este estudio se propuso estudiar una propuesta de curado interno mediante la saturación máxima de la traquita como un porcentaje del agregado grueso. Pues en la biografía estudiada se encuentra el curado interno mediante saturación de material liviano como polímeros súper absorbentes, arcillas expandidas, agregado liviano y madera. Los cuales mejoran el desarrollo de la resistencia a la compresión, durabilidad y evitan problemas de contracción por desecación del concreto, muestran una desventaja: Que limitan la resistencia a compresión última del concreto, por la baja resistencia de estos materiales absorbentes.

Para verificar si esta propuesta de curado interno del concreto mediante la saturación de la traquita es más efectiva que los curados usualmente utilizados, debemos determinar el efecto que tiene este tipo de curado en la retención de humedad y en la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y compararlos con otros curados ya conocidos.

1.2. Formulación Del Problema.

Conociendo el problema de investigación y los argumentos para realizar la presente tesis de investigación es que se formula el siguiente problema:

¿Qué efectividad tiene el curado interno del concreto de alta resistencia $F'c=420$ kg/cm² mediante la adición de traquita en reemplazo del 7%, 12% y 17% del agregado grueso, referente a la retención de humedad y aumento de la resistencia a la compresión y flexión, en comparación al curado del concreto sumergido en agua?

1.3. Justificación de la investigación.

La importancia del presente trabajo de investigación, radica en poder realizar un óptimo curado en el concreto de alta resistencia, para evaluar la retención de humedad y aumento de la resistencia a la compresión y flexión del concreto $F'c=420$ kg/cm².

En la practica el concreto recibe un curado de manera ocasional, sin un adecuado suministro de humedad, los materiales cementantes en el concreto no pueden reaccionar para formar un producto de calidad por lo cual el concreto no alcanzará sus propiedades potenciales por ello se plantea el estudio de un concreto autocurable de alta resistencia con un $F'c=420$ Kg/Cm².

Esta investigación propone alternativas de solución ante problemas ingenieriles como es el óptimo curado del concreto mediante procesos no convencionales que serán de gran importancia para empresas constructoras, ingenieros, maestros de obra, albañiles y población civil en general de la ciudad de Cajamarca. Asimismo, está dirigida a estudiantes que deseen continuar con la investigación a la que se avoca esta tesis.

1.4. Delimitación de la Investigación.

La presente investigación se limitará a estudiar la retención de humedad, la resistencia a la compresión y a la flexión de un concreto utilizando fragmentos de traquita para reemplazar el agregado grueso en ciertos porcentajes para realizar un concreto $f'c=420$ kg/cm², comparando con los procesos más usados de curado existentes en la actualidad.

1.5.Limitaciones de la Investigación.

Para la realización del presente trabajo se tendrán las siguientes limitaciones:

- ✓ La escasez de canteras de agregados de buena calidad necesarios para su elaboración.
- ✓ La presencia de sustancias degradantes como sulfatos, cloruros, materia orgánica tanto en los agregados, como en el agua de mezcla como en el suelo de fundación.

1.6.Hipótesis.

El curado interno mediante adiciones de traquita en ciertos porcentajes de reemplazo de agregado grueso (7%,12% y 17%) es más efectivo en retención de humedad y resistencia mecánica del concreto, que los curados mediante inmersión en agua y usando aditivo curador.

- Variables de Estudio

Las variables dependientes e independientes consideradas en el estudio, y que se evaluaron a partir de los ensayos en especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto a edades de 7, 14 y 28 días, fueron las siguientes:

a. Variables dependientes

- Resistencia a la compresión del concreto.
- Resistencia a la flexión del concreto.

b. Variable independiente:

- Porcentaje de reemplazo y propiedades de la traquita.
- Propiedades de los agregados naturales.

1.7. Alcances.

En esta tesis de investigación, se plantea desarrollar actividades que estén de acuerdo con lo que estipula la normatividad vigente, realizando cuatro diseños de mezcla (mezcla patrón, mezcla con dosificación del 7% de traquita por volumen de agregado grueso, mezcla con dosificación del 12% de traquita por volumen de agregado grueso y mezcla con dosificación del 17% de traquita por volumen de agregado grueso), con los que se elaborarán un total de 72 especímenes de concreto por cada tipo de mezcla, para ser ensayados a compresión uniaxial a edades de 7, 14 y 28 días; para el ensayo de flexión se realizaron 12 especímenes, 6 de mezcla patrón y 6 con el % óptimo de traquita. Se utilizó agregados procedentes de la cantera ROCA FUERTE – EL

CHONTA, y la traquita se obtuvo en el km 7.5 carretera a Bambamarca en donde siguiendo los procedimientos de las normas técnicas ASTM y NTP, se obtendrá sus características físicas, utilizando cemento Portland Pacasmayo Tipo I, según la norma técnica ASTM C 150.

1.8.Objetivos.

Objetivo General

Determinar que efectividad tiene el curado interno del concreto reemplazando ciertos porcentajes del agregado grueso por fragmentos de traquita mediante la valoración de algunas de sus propiedades físicas y mecánicas, en comparación a otro tipo de curado.

Objetivos Específicos

- ✓ Hallar la humedad de especímenes cilíndricos de un concreto endurecido mediante la adición de fragmentos de traquita en reemplazo del 7%, 12% y 17% del agregado grueso referente a la resistencia a la compresión del concreto; a edades de 7, 14 y 28 días será más efectiva en comparación al curado por inmersión y curado con aditivo.
- ✓ Determinar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de un concreto $F'c=420$ kg/cm² mediante la adición de fragmentos de traquita en reemplazo del 7%, 12% y 17% del agregado grueso referente a la resistencia a la compresión del concreto; a edades de 7, 14 y 28 días será más efectiva en comparación en comparación al curado por inmersión y curado con aditivo.
- ✓ Hallar el módulo de elasticidad de especímenes cilíndricos de un concreto $F'c=420$ kg/cm² mediante la adición de fragmentos de traquita en reemplazo del 7%, 12% y 17% del agregado grueso referente a la resistencia a la compresión del concreto; a edades de 28 días será más efectiva en comparación en comparación al curado por inmersión y curado con aditivo.
- ✓ Evaluar la resistencia a flexión de especímenes cilíndricos de un concreto $F'c=420$ kg/cm² mediante la adición de fragmentos de traquita en reemplazo optimo del agregado grueso referente a la resistencia a la compresión del concreto; a edades 28 días será más efectiva en comparación en comparación al curado por inmersión.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación.

2.1.1. Antecedentes internacionales.

- Evaluación del mucílago de nopal como reductor de retracción en concreto auto-consolidable - Universidad Autónoma De Nuevo León (México). De León Castillo, 2012.

En este proyecto, se investigó una solución acuosa de mucilago de nopal como aditivo para mejorar el curado interno en concretos auto-consolidables de peso normal y ligeros. Se estudiaron dos modos de dosificación; como solución para el curado interno y como aditivo dosificado directamente en la mezcla. Se determinó una serie de propiedades para evaluar el efecto de la solución acuosa con mucilago de nopal, y estas fueron: la retracción autógena (ASTM C 1698), la retracción por secado (ASTM C 157) la prueba de permeabilidad rápida a los iones cloro (ASTM C 1202) y la carbonatación acelerada. Adicionalmente se realizó la determinación de propiedades clave en estado fresco y estado endurecido.

Desde un enfoque práctico, los resultados obtenidos ilustran que en los concretos auto-consolidables estudiados, la incorporación de la solución acuosa con mucilago de nopal, introducida al concreto como solución para el curado interno o como aditivo en la mezcla, no demerita las propiedades mecánicas e induce beneficios de marginales a significativos en la estabilidad volumétrica y en la impermeabilidad del concreto al reducir la retracción autógena, la permeabilidad a los iones cloro y la carbonatación.

Efecto de las condiciones de curado en las propiedades mecánicas de los morteros con partículas súper absorbentes. Los polímeros súper absorbentes (PSA) pueden aplicarse de forma eficaz a los hormigones de cemento en condiciones de curado adversas, ya que mantienen las propiedades mecánicas de estos liberando agua en función de las necesidades. Este resultado debiera alentar más estudios.

Los PSA resultaron especialmente sensibles a la temperatura de curado. La temperatura exterior provoca una Pérdida de agua 1,5 veces mayor en los morteros con PSA. Las muestras con PSA presentan menor resistencia cuando se curan a 40 ° C que cuando el tratamiento es a temperatura ambiente y una HR del 30%. Los valores iniciales de resistencia obtenidos con una temperatura de curado de 40 °C indican que la presencia de PSA puede afectar a la temperatura interior. Es necesario seguir investigando para

conocer las condiciones interiores del concreto con agua ocluida y sus características, principalmente en los sistemas sellados.

- Efecto sinérgico de un agente de curado interno y un aditivo reductor de la retracción en el incremento de la durabilidad de concretos de alto desempeño expuestos a un ambiente industrial - Universidad Autónoma De Nuevo León (México), De Los Santos Rodríguez, 2012

Debido a que el principal material para la construcción de todos estos elementos es el concreto, esta investigación presentará los resultados obtenidos de concretos elaborados con materiales que le confieren características distintas a las de un concreto normal (constituido por cemento, agua y agregados), como la implementación de la pumicita o piedra pómez (agregado ligero) para lograr el curado interno. La pumicita es un material que capta o almacena agua en los poros por medio de fuerzas capilares, esta es una característica que nos permite utilizarla como almacén de agua para curado interno.

Solo el sustituir agregado ligero tiene una reducción del 6% de resistencia a 180 días y una reducción de peso de 4% aproximadamente en estado fresco que puede compensar la disminución de resistencia con una disminución en el diseño de elementos estructurales.

- Uso de material cerámico como material para curado interno en mezclas de concreto - Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (Colombia), Aldana Barcinilla, 2014.

El presente trabajo de grado tuvo como finalidad evaluar el comportamiento de un concreto al cual se le hizo reemplazo, en ciertos porcentajes, del agregado grueso por material cerámico para obtener curado interno; dicho comportamiento se evaluó mediante la valoración de algunas de las propiedades mecánicas y de durabilidad de las mezclas hechas con este material. El material cerámico usado en las diferentes mezclas de los ensayos fue producido a partir de la trituración de ladrillo tolete estructural, comúnmente usado en la construcción de viviendas en la ciudad de Bogotá.

Los resultados de los ensayos mostraron claramente que en la media que se aumenta el porcentaje de reemplazo de material cerámico, para muestras con relación a/c de 0.30, los resultados de la resistencia a la compresión son más altos que para los concretos de

la muestra patrón, mientras que para la relación a/c de 0.50, se obtuvieron resistencias a la compresión inferiores a las de un concreto con el 100% del agregado natural.

2.1.2. Antecedentes locales.

- Efectividad del curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso en comparación a otros tipos de curado - Universidad Nacional De Cajamarca (Perú), Tejada Arias, 2016.

Este estudio se realizó en Cajamarca, Perú; en donde, en la elaboración de concreto, el curado de éste se realiza de manera superficial, comúnmente por humedecimiento o por rociado de aditivo generador de membrana; pero no, se conoce la efectividad de estos tipos de curados en el desarrollo a la resistencia a compresión. Por lo cual existe una necesidad de saber la influencia de los tipos de curado del concreto más comunes en su desarrollo de la resistencia a compresión y/o buscar nuevos métodos más efectivos de curado. Así, esta tesis tiene como objetivo: Determinar qué efectividad tiene el curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso, referente a la humedad y a la resistencia a la compresión, en comparación a otros tres tipos de curado.

Concluyendo que el curado interno mediante la saturación de agregado grueso fue más efectivo en retención de humedad y aumento de resistencia a compresión del concreto a diferencia de los otros tratamientos de curado comunes estudiados.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Concreto de Alta Resistencia.

El concreto de alta resistencia supera las propiedades y la constructibilidad del concreto convencional. Para producir estos concretos especialmente diseñados, se usan materiales normales y especiales y pueden ser necesarias prácticas especiales de mezclado, colocación y curado. El concreto de alta resistencia está siendo usado principalmente en túneles, puentes y edificios altos debido a su resistencia, durabilidad y alto módulo de elasticidad. Las características del concreto de alta resistencia se desarrollan para aplicaciones y ambientes particulares. Algunas de las propiedades que se pueden requerir incluyen:

- Alta resistencia
- Alta resistencia inicial

- Alto módulo de elasticidad
- Alta resistencia a abrasión
- Alta durabilidad y vida útil larga en ambientes severos
- Baja permeabilidad y difusión

Los concretos de alta resistencia se producen con materiales de alta calidad, cuidadosamente seleccionados y con la optimización del diseño de la mezcla. Estos materiales se dosifican, se mezclan, se colocan, se compactan y se curan con los más altos niveles de la industria. Típicamente, estos concretos tienen una relación agua/cemento de 0.20 a 0.45. Se usan normalmente reductores de agua para volverlos fluidos y trabajables.

2.2.2.1 Aditivos

Es necesario el uso de aditivos químicos, tales como reductores de agua, retardadores, reductores de agua de alto rango o superplastificantes. Ellos aumentan la eficiencia de las altas cantidades de material cementante en el concreto de alta resistencia y ayudan a obtener una relación agua-material cementante la más baja posible. La eficiencia de los aditivos químicos se debe evaluar a través de la comparación de la resistencia de las mezclas de prueba. Se debe investigar también la compatibilidad entre cemento y material cementante suplementario, bien como reductores de agua y otros aditivos. A través de estas mezclas de prueba es posible la determinación de la trabajabilidad, tiempo de fraguado y la cantidad de reducción de agua para una determinada dosis de aditivo y el momento de adición.

El uso de aditivos inclusores de aire (incorporadores de aire) no es necesario ni deseado en el concreto de alta resistencia protegido del intemperismo, tales como columnas y muros de cortante en edificios altos. Sin embargo, en puentes, pilas de concreto, estribos o estructuras de estacionamientos, donde sea necesaria durabilidad en ambiente de hielo y deshielo, es obligatorio el uso de inclusor de aire. Como esta inclusión de aire disminuye la resistencia de mezclas ricas, pueden ser necesarios ensayos para que se establezca el contenido ideal de aire y el factor de espaciamento. Ciertos concretos de alta resistencia no necesitan de tanto aire como el concreto con resistencia convencional para ser resistente a la congelación.

Pinto y Hover (2001) han observado en su estudio que concretos de alta resistencia, sin aire incluido, con relación agua-cemento portland de 0.25, tenían buena resistencia a la congelación. Burg y Ost (1996) encontraron buena resistencia a congelación en

concretos sin aire incluido, conteniendo humo de sílice y relación agua-material cementante de 0.22. Sin embargo, esto no fue el caso de otras mezclas, incluyendo mezclas solamente con cemento y relación agua-cemento de 0.28.

2.2.2.2 Agregados de peso ligero

Permiten que los rangos de densidades oscilen entre 300 a 1,850 kg/m³. Los rangos correspondientes de resistencia van entre 0.3 a 40 Mpa, e incluso mayores. Las resistencias más elevadas se obtienen con contenidos elevados de cemento (500 kg/m³, puede necesitarse hasta 70% más que con agregados normales). Todos los agregados ligeros producen concretos totalmente diferentes entre sí por lo que se requiere un cuidadoso control, se consideran generalmente de peso ligero y encuentran su aplicación en la producción de varios tipos de concreto de peso ligero. El peso ligero se debe a su microestructura celular o altamente porosa. Los agregados naturales de peso ligero son elaborados procesando rocas ígneas volcánicas tales como la roca pómez, la escoria o la turba. Los agregados sintéticos de peso ligero pueden manufacturarse por tratamiento térmico de una variedad de materiales, por ejemplo, traquita arcilla, pizarra, diatomita, perlita, vermiculita, escoria de alto horno y ceniza volante. Los agregados muy porosos, que son los más ligeros del género, son en general débiles y por lo tanto, los más adecuados para producir concretos aislantes no estructurales. Al otro extremo del espectro se encuentran aquellos agregados de peso ligero que son relativamente menos porosos; cuando la estructura del poro consta de poros finos uniformemente distribuidos, el agregado es generalmente resistente y capaz de utilizarse en concreto estructural. El concreto ligero tiene mejor resistencia al fuego y mejores propiedades aislantes acústicas y térmicas que el concreto normal, proporciona economía en los elementos estructurales para cimentación, por la disminución de cargas muertas. El concreto estructural con agregados ligeros cuesta de treinta a cincuenta por ciento más que el preparado con agregados normales, presenta mayor porosidad y mayor contracción por secado. La resistencia a la intemperie es, más o menos, la misma para ambos tipos de concreto.

Los agregados de peso ligero tienen especificaciones por separado para su uso en concreto estructural bajo la norma ASTM C-330. Asimismo para concreto aislante norma ASTM C-332 y concreto para la producción de unidades de mampostería norma ASTM 331. Estas especificaciones contienen los requisitos para el graduado, el tipo de

sustancias indeseables y los pesos unitarios de los agregados, así como para el peso unitario, resistencia y retracción por secado del concreto que contiene el agregado.

Rivera, G. (s.f.) explica que los agregados ligeros debido a su estructura porosa, tienen una mayor capacidad de absorción que los agregados normales. La absorción de agua de los agregados debe tenerse en cuenta al verter el agua de amasado, puesto que influye en la manejabilidad del concreto, en la eficaz relación a/c, en la resistencia y la densidad del concreto y en propiedades del concreto que están en dependencia con ellas, como la deformabilidad en función del tiempo (retracción y fluencia). La absorción de agua es la relación entre el agua absorbida en un tiempo determinado y la masa seca del agregado.

Traquita

La traquita es una roca volcánica compuesta fundamentalmente por feldespato alcalino, tanto sanidina como anortoclasa. Estos pueden encontrarse como fenocristales y al mismo tiempo siendo las fases principales en la matriz de la roca. Algunos minerales máficos acompañantes pueden ser la biotita, los anfíboles y el clinopiroxeno. Podría llegar a tener cuarzo o feldespatoideos.

En cuanto a su aspecto, muestra una coloración blanca, gris claro, pardo tenue o verdosa, con textura porfídica debido a la presencia de fenocristales de biotita y sanidita inmersos en una masa de fondo constituida por pequeñas listas, alargadas y paralelas, de sanidina y albita. Su estructura es densa y, más raramente vacuolar. Exteriormente su apariencia presenta una rugosidad muy manifiesta.

La traquita se origina a través de un proceso de cristalización fraccionada de los basaltos alcalinos de ambiente no orogénico, junto con los que se suele encontrar en coladas, filones y apófisis de dimensiones limitadas. Esta roca también se encuentra presente en las islas volcánicas medio-oceánicas, siempre asociada a magmas basálticos alcalinos. La traquita tiene una dureza de grado 6, es altamente porosa, es resistente al calor, de grano fino, resistente a los impactos, resistente al desgaste.

2.2.2.3 Resistencia a la compresión del concreto (NTP 339.034/ASTM C39)

Las pruebas de compresión de los cilindros de concreto se deben realizar sobre una máquina de pruebas calibrada, operada por motor, que proporcione una velocidad de carga uniforme de 1.4 a 3.5 kg/cm² por segundo, y que cumpla con los requisitos de

ASTM E4 para las máquinas de prueba. Las superficies de apoyo deben ser planas y estar limpias, y el cilindro debe estar centrado en las cabezas de prueba.

Las pruebas de concretos con resistencias a compresión mayores de 420 kg/cm² requieren de atención especial de la resistencia de los materiales usados para el cabeceo, y a la rigidez de la máquina de pruebas. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1999, pág. 191)

Para un conjunto dado de materiales en una mezcla de concreto, hay un contenido dado de cemento el cual produce la máxima resistencia del concreto. Esta puede no siempre ser incrementada por el cemento añadido a la mezcla adicionalmente a este óptimo contenido de cemento. (Rivva López, 2002, pág. 60)

Para el ensayo de compresión deben sumergirse en agua los cilindros por 24±4 horas inmediatamente antes de la rotura para asegurar una condición uniforme de humedad; o deben ensayarse tan pronto como sea posible, en estado húmedo; se llevan a la máquina de ensayo y se aplica carga a una velocidad constante (1.4 a 3.5 kg/cm²/s) hasta que el cilindro falle. (Rivera López, pág. 130)

Deformación Unitaria por Compresión

Una serie de curvas (Figura N° 1) muestra la cantidad de esfuerzo de compresión y de deformación unitaria que resulta instantáneamente a la aplicación de carga en el concreto sin refuerzo. Con relaciones agua/cemento menor que 0.50 y deformaciones unitarias de hasta 1500 millonésimos, las tres curvas superiores muestran que la deformación unitaria es proporcional al esfuerzo (tensión).

En otras palabras, el concreto es casi elástico. La parte superior de la curva y más allá de ésta muestran que el concreto es inelástico. Las curvas de los concretos de alta resistencia tienen picos agudos, mientras que aquéllos de baja resistencia tienen picos relativamente largos y planos. (Figura N° 1) también muestra las características de falla repentina de los cilindros de concretos de alta resistencia y baja relación agua-cemento.

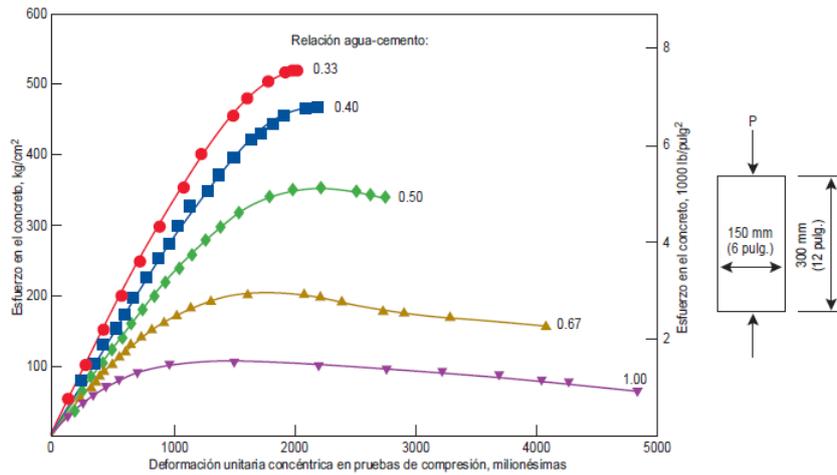


Figura 1. esfuerzo-deformación unitaria (esfuerzo-deformación unitaria o específica) Curva de para pruebas de compresión en cilindros de concreto de 150 x 300 mm (6 x 12 pulg.) en la edad de 28 días (Hognestad, Hanson y MacHenry 1955).

Módulo de Elasticidad

Se define el módulo de elasticidad (E) como la relación entre esfuerzo y deformación unitaria en el rango elástico de la curva esfuerzo-deformación del concreto (Figura N° 2). El concreto de densidad normal tiene un módulo de elasticidad de 140,000 a 420,000 kg/cm² o 14,000 a 41,000 MPa (2,000,000 lb/pulg² a 6,000,000 lb/pulg²), dependiendo de factores, tales como resistencia a compresión y tipo de agregado. En concretos con agregados de densidad normal y resistencia a compresión ($\bar{\sigma}$) entre 210 y 360 kg/cm² o 20 y 35 MPa (3000 y 5000 lb/pulg²), el módulo de elasticidad se puede estimar como 15,000 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetros cuadrados o 5000 veces la raíz cuadrada de $\bar{\sigma}$ en MPa (57,000 veces la raíz cuadrada de $\bar{\sigma}$ en lb/pulg²). El E se puede determinar en cualquier concreto a través de las normas ASTM C 469, Covenin 1468, Ntc 4025, Nmx C 128 Y Unit 42.

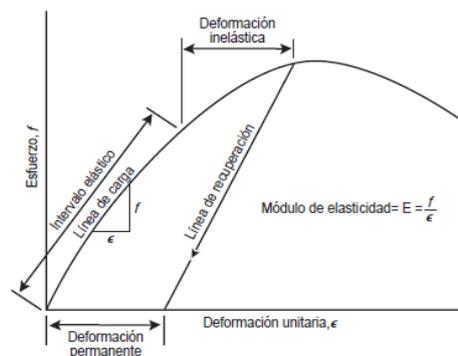


Figura 2. Curva genérica de esfuerzo-deformación unitaria del concreto.

2.2.2. Cambios de Volumen del Concreto.

El concreto cambia ligeramente de volumen por varias razones y la comprensión de la naturaleza de estos cambios es útil para el planeamiento o el análisis de las obras en concreto. Si el concreto fuera libre de cualquier restricción para deformarse, los cambios normales de volumen tendrían pocas consecuencias, pero, como el concreto en servicio normalmente se restringe por los cimientos (cimentación, fundación), subrasantes, refuerzo o elementos conectados, se pueden desarrollar esfuerzos considerables. Esto es principalmente verdad para los esfuerzos de tensión (tracción).

Las grietas (fisuras) se desarrollan porque el concreto es relativamente débil en tensión, pero bastante resistente a compresión. El control de las variables que afectan los cambios de volumen puede minimizar las tensiones elevadas y el agrietamiento. El ancho admisible de las fisuras se debe considerar en el diseño estructural.

El cambio de volumen se define meramente como un incremento o una disminución del volumen. Más comúnmente, el tema del cambio del volumen del concreto trata de la expansión lineal y la contracción ocasionada por ciclos de temperatura y humedad. Sin embargo, los efectos químicos como la contracción (retracción) por carbonatación, el ataque de sulfatos y la expansión perjudicial resultante de la reacción álcali-agregado también pueden causar cambios de volumen. También la fluencia es un cambio de volumen o una deformación causada por esfuerzos o cargas sostenidos. Igualmente, importantes son los cambios elástico e inelástico en las dimensiones o formas, que ocurren instantáneamente bajo la aplicación del esfuerzo.

Por conveniencia, la magnitud de los cambios de volumen generalmente se expresa en unidades lineales en lugar de volumétricas. Cambios de longitud normalmente se expresan como un coeficiente de la longitud en partes por millón, o sencillamente, como millonésimos y se aplica a cualquier unidad de longitud (por ejemplo, m/m, pie/pie). Un millonésimo es 0.000001 m/m (0.000001 pulg./pulg.) y 600 millonésimos son 0.000600 m/m (0.00060 pulg./pulg.).

El cambio de la longitud también se enuncia como un porcentaje, por lo tanto, 0.06% es el mismo que 0.000600, lo cual es, a propósito, aproximadamente lo mismo que 6 mm por 10 m (3/4 pulg. por 100 pies).

Los cambios de volumen que ordinariamente ocurren en el concreto son pequeños, variando en cambios de longitud de 10 millonésimos hasta 1000 millonésimos.

2.2.2.1 Cambios de volumen en edad temprana.

El cambio del volumen del concreto empieza justo después del colado (colocación). Los cambios tempranos de volumen, durante las primeras 24 horas, pueden influenciar los cambios de volumen y la formación de fisuras en el concreto endurecido, especialmente en concretos con baja relación agua-cemento. Siguen las discusiones sobre las diversas formas de cambios de volumen en edad temprana.

Contracción Química

La contracción química se refiere a la reducción en el volumen absoluto de sólidos y líquidos de la pasta, resultante de la hidratación del concreto. El volumen absoluto de los productos hidratados del cemento es menor que el del cemento y del agua antes de la hidratación. Este cambio del volumen de las pastas de cemento en el estado plástico se representa por las dos primeras barras (Figura N° 3)

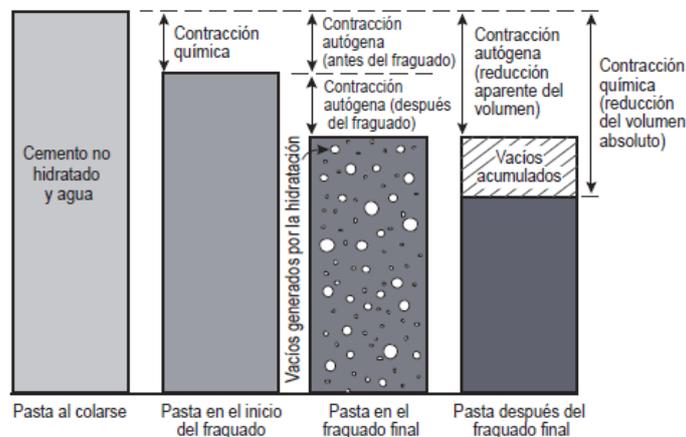


Figura 3. Cambios de volumen por contracción química y contracción autógena de pasta fresca y endurecida.

No están incluidas las burbujas de aire del mezclado. La contracción (retracción) química es continua a una escala microscópica, mientras que el cemento se hidrata. Después del fraguado inicial, la pasta no se puede deformar tanto cuanto en el estado plástico. Por lo tanto, se compensan la hidratación y la contracción química adicionales con la formación de vacíos en la microestructura (Figura N° 3).

La mayor parte de este cambio de volumen es interno y no cambia considerablemente las dimensiones externas visibles del elemento de concreto. La magnitud del cambio de volumen ocasionado por la contracción química se puede estimar a través de las fases

hidratadas del cemento y de las densidades de sus cristales o se la puede determinar por pruebas físicas.

Contracción Autógena

La contracción autógena es la reducción macroscópica del volumen (cambio dimensional visible) de la pasta de cemento, mortero o concreto, causada por la hidratación del cemento. La reducción macroscópica del volumen de la contracción autógena es mucho menor que la reducción del volumen absoluto de la contracción química, debido a la rigidez de la estructura de la pasta endurecida.

La contracción química es la fuerza que conduce a la contracción autógena. La relación entre contracción autógena y contracción química (Figura N° 3, N° 4, N°5)

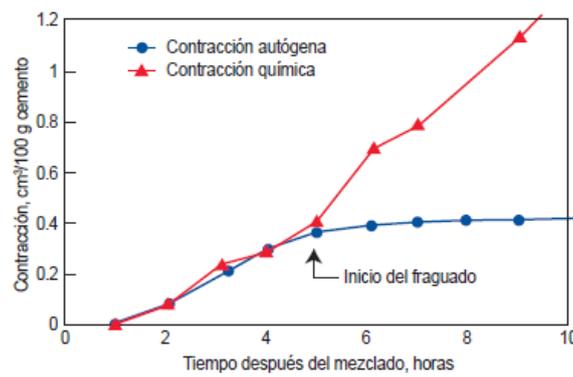


Figura 4. Relación entre contracción autógena y contracción química de la pasta de cemento en edades tempranas (Hammer 1999).

Algunos investigadores y organizaciones consideran que la contracción autógena empieza con el inicio del fraguado y otros la evalúan desde el momento de la colocación (colado) del concreto.

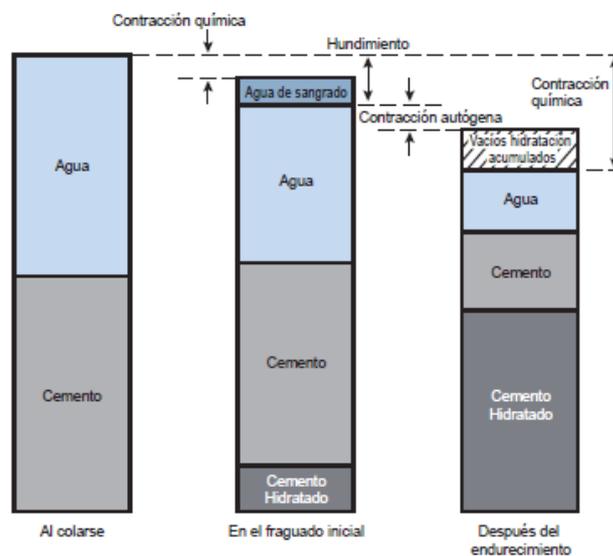


Figura 5. Relación volumétrica entre hundimiento (asentamiento), agua de sangrado, contracción química y contracción autógena.

Sólo se enseña la contracción autógena después del inicio del fraguado. Sin escala.

Cuando hay agua externa disponible, la contracción autógena no puede ocurrir. Cuando el agua externa no está disponible, la hidratación del cemento consume el agua de los poros, resultando en auto desecación de la pasta y en una reducción uniforme del volumen (Copeland y Braga 1955). La contracción (retracción) autógena aumenta con la disminución de la relación agua/cemento y con el aumento de la cantidad de pasta de cemento. El concreto normal tiene una contracción autógena insignificante, sin embargo, es muy prominente en concretos con relación agua-cemento menor que 0.42 (Holt 2001). El concreto de alta resistencia y baja relación agua/cemento (0.30) puede experimentar una contracción autógena de 200 a 400 millonésimos. La contracción autógena puede ser la mitad de la contracción por secado en concretos con relación agua-cemento de 0.30. El uso reciente de concretos de alto desempeño y baja relación agua-cemento, en puentes y otras estructuras, ha reanudado el interés en la contracción autógena, a fin de controlar el desarrollo de fisuras. Los concretos altamente susceptibles a contracción autógena se deben curar con agua externa, por un periodo de, por lo menos, 7 días a fin de ayudar a controlar el desarrollo de grietas. Se deben proporcionar el rociado, tan pronto se coloca el concreto. La hidratación de los materiales cementantes suplementarios también contribuye para la contracción autógena, pero en un nivel diferente del cemento portland.

Hundimiento

El hundimiento (asentamiento) se refiere a la contracción vertical de los materiales cementantes frescos, antes del inicio de fraguado, y es resultado de la exudación (asentamiento de los sólidos con relación a los líquidos), de la subida de los vacíos de aire hacia la superficie y de la contracción química. El hundimiento también se llama contracción por asentamiento. El hundimiento del concreto bien consolidado, con un sangrado mínimo, es insignificante. La relación entre hundimiento y otros mecanismos de contracción (Figura N° 5).

El hundimiento excesivo arriba de elementos insertados, tales como acero de refuerzo (armadura), puede resultar en agrietamiento (fisuración) sobre estos elementos. Los concretos producidos con aire incluido (incorporado), la cantidad suficiente de materiales finos y la relación agua/cemento baja tienden a minimizar el agrietamiento

por hundimiento. De la misma manera, las fibras plásticas pueden reducir la fisuración por hundimiento (Suprenant y Malisch 1999).

Contracción Plástica

Contracción plástica se refiere a los cambios que ocurren mientras el concreto aún está en estado fresco, antes de endurecerse. Normalmente, se presenta en la forma de fisuras por contracción plástica, que ocurren antes o durante el acabado. Las grietas frecuentemente parecen rasgaduras en la superficie. La contracción plástica resulta de la combinación de la contracción (retracción) química y autógena y la rápida evaporación de la humedad de la superficie, superando la tasa de sangrado (exudación). La contracción plástica se puede controlar con la disminución de la evaporación de la superficie a través del uso de rociado, sombreado, cubiertas de láminas de plástico, yute (arpillera, estopa) húmedo, auxiliares de acabado aerosol (retardadores de evaporación) y fibras plásticas.

2.2.2.2 Cambios de humedad (contracción por secado) del concreto endurecido.

El concreto endurecido se expande ligeramente con el aumento de la humedad y se contrae con la pérdida de la misma. Los efectos de estos ciclos de humedad se ilustran esquemáticamente (Figura N° 6). La probeta A representa el concreto almacenado constantemente en agua desde su colocación. La probeta B representa el mismo concreto expuesto primeramente al secado al aire y después a ciclos alternados de humedecimiento y secado. Se debe observar que la expansión que ocurre durante el almacenamiento húmedo continuo durante un periodo de varios años es normalmente menor que 150 millonésimos.

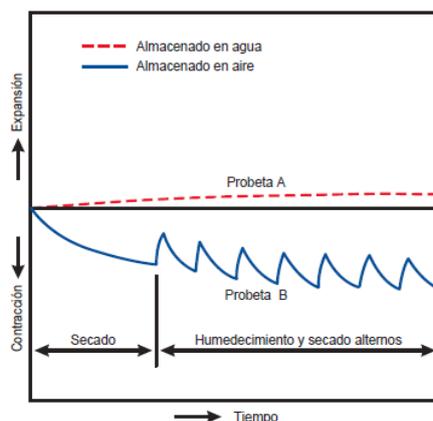


Figura 6 Ilustración esquemática de los movimientos de la humedad en el concreto.

Si se conserva el concreto constantemente húmedo, ocurre una pequeña expansión. Sin embargo, normalmente también ocurre el secado, causando contracción. Humedecimiento y secado adicionales causan ciclos alternados de expansión y contracción (Roper 1960).

Esto es cerca de un cuarto de la contracción del concreto secado al aire durante el mismo periodo. La Figura N°7 muestra que hay una expansión de los concretos sujetos a curado húmedo por siete días, seguida de contracción, cuando se los sella o se los expone al secado al aire. La contracción (retracción) autógena reduce el volumen de los concretos sellados a un nivel aproximadamente igual a la magnitud de la expansión a siete días. Observe que los concretos curados con humedad por siete días tuvieron menos contracción autógena y por secado que el concreto sin curado húmedo. Esto muestra la importancia del curado húmedo temprano para minimizar la contracción (Aïtcin 1999).

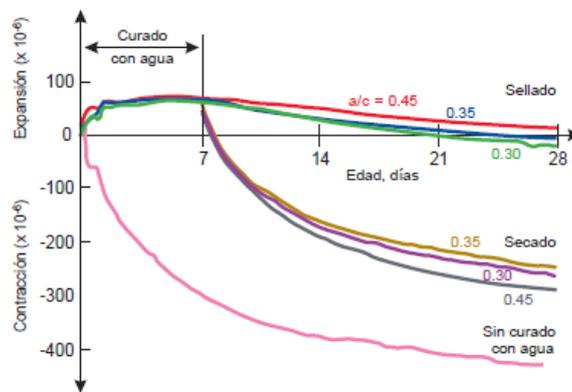


Figura 7. Cambio de longitud de especímenes de concreto expuestos a diferentes regímenes de curado (Aïtcin 1999).

La cantidad de humedad en el concreto se afecta por la humedad relativa del aire ambiente. El contenido de humedad libre de los elementos de concreto, después de secados al aire a una humedad relativa del 50% al 90% por varios meses, es cerca del 1% al 2% de la masa del concreto.

La cantidad real depende de los constituyentes del concreto, contenido original de humedad, condiciones de secado, tamaño y forma del elemento de concreto. Después que el concreto se haya secado hasta una humedad constante bajo una cierta condición de humedad, una disminución de la humedad relativa hace con que pierda humedad y un incremento hace que gane humedad.

El concreto se contrae o se expande con cada cambio de contenido de humedad debido principalmente a las respuestas de la pasta de cemento a los cambios de humedad. La

mayoría de los agregados presenta poca respuesta a los cambios de contenido de humedad, aunque hay pocos agregados que se expanden o contraen en respuesta a estos cambios.

Retracción por secado

Una causa habitual de la fisuración del concreto es la restricción de la retracción por secado. La retracción por secado es provocada por la pérdida de humedad de la pasta, la cual se puede contraer hasta un 1%. Por fortuna, los agregados proveen una restricción interna que reduce la magnitud de este cambio de volumen a aproximadamente 0,06%. Cuando se humedece el concreto tiende a expandirse.

Estos cambios de volumen inducidos por los cambios de humedad son una característica propia del concreto. Si la retracción del concreto se produjera de manera no restringida el concreto no se fisuraría.

Es la combinación de la retracción y la restricción (generalmente proporcionada por otra parte de la estructura o por la subrasante) lo que provoca el desarrollo de tensiones de tracción. Cuando se supera la resistencia a la tracción del concreto éste se fisura. Las fisuras se pueden propagar a tensiones mucho menores que las requeridas para provocar el inicio de la fisuración.

En los elementos de concreto masivo hay tensiones de tracción provocadas por la retracción diferencial entre el concreto de la superficie y el concreto del interior de la masa. La mayor retracción de la superficie provoca el desarrollo de fisuras, que con el tiempo pueden penetrar más profundamente hacia el interior del concreto.

2.2.3. La hidratación del cemento portland.

La hidratación del cemento es el principal proceso físico, químico y termodinámico en la formación del concreto, ya que éste se da cuando el agua entra en contacto con el cemento portland y forman la pasta de cemento, la cual es el medio ligante del concreto. La expresión “hidratación del cemento Portland” y “reacción de hidratación” se utilizan para describir el conjunto de procesos físico-químicos y termodinámicos que se desarrollan simultáneamente cuando el cemento Portland entra en contacto con el agua. Al progreso de este fenómeno desde que una partícula de cemento comienza a reaccionar hasta que se completa la misma y a los niveles intermedios se les denomina “grado de hidratación” (α).

La calidad de unión (adhesión, adherencia) de la pasta de cemento portland se debe a las reacciones químicas entre el cemento y el agua, conocidas como hidratación. El cemento portland no es un compuesto químico sencillo, es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos totalizan 90% o más del peso del cemento portland, siendo los siguientes: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico (aluminio ferrito tetracálcico). Además de estos compuestos principales, muchos otros desempeñan un papel importante en el proceso de hidratación.

Los dos silicatos de calcio, los cuales constituyen 75% del peso del cemento portland, reaccionan con el agua para formar dos compuestos: hidróxido de calcio y silicato de calcio hidratado (hidrato de silicato de calcio). Este último es, sin duda, el más importante compuesto del concreto. Las propiedades de ingeniería del concreto fraguado y endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional dependen principalmente del silicato de calcio hidratado. Éste es el corazón del concreto. La composición química del silicato de calcio hidratado es un tanto variable, pero contiene cal (CaO) y dióxido de silicio (SiO₂) en una proporción de 3 a 2. Mientras el concreto se endurece, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, los cuales no tienen resistencia. La resistencia está en las partes sólidas de la pasta, sobre todo en el silicato de calcio hidratado y en los compuestos cristalinos.

Cuanto menos porosa es la pasta de cemento, más resistente es el concreto. Por lo tanto, al mezclarse el concreto, no se debe usar más agua que aquella estrictamente necesaria para obtenerse un concreto plástico y trabajable. Incluso, la cantidad de agua usada es normalmente mayor que la necesaria para la hidratación completa del cemento. Aproximadamente se necesitan 0.4 gramos de agua por gramo de cemento para la hidratación completa del cemento (Powers 1948 y 1949). Sin embargo, la hidratación completa es rara en los concretos de las obras, debido a una falta de humedad y al largo periodo de tiempo (décadas) que se requiere para obtener la hidratación total. (Trujillo R., 2011), por lo cual la propuesta de curado interno del concreto podría acelerar la hidratación completa del cemento.

Según Powers, Jensen y Hansen citados por Trujillo R. esquemáticamente, representaron los resultados de sus trabajos sobre el desarrollo de la hidratación (Figura N° 8 y 9).



Figura 8. Análisis del desarrollo de la hidratación (α) de una pasta de cemento expuesta a un sistema cerrado según Powers y colaboradores.

Estos esquemas muestran claramente que la hidratación completa no puede alcanzarse en un sistema cerrado, que es un sistema donde no hay intercambio de humedad con el exterior, a menos de que la relación agua/cemento sea igual o mayor que 0.42, la cual será un sistema que contiene más agua de la necesaria para hidratar por completo al cemento, pero como se observa la cantidad de poros aumentarán por producirse una auto desecación del concreto (Trujillo R., 2011).

Jensen y Hansen, además, demostraron que cuando una fuente de agua externa se encuentra disponible durante la hidratación del cemento portland, es posible obtener una pasta de cemento sin poros cuando la relación agua/cemento es menor o igual que 0.36, a relaciones menores existiría auto desecación y no se llegaría a un grado de hidratación completo ($\alpha < 1$) (Trujillo R., 2011).

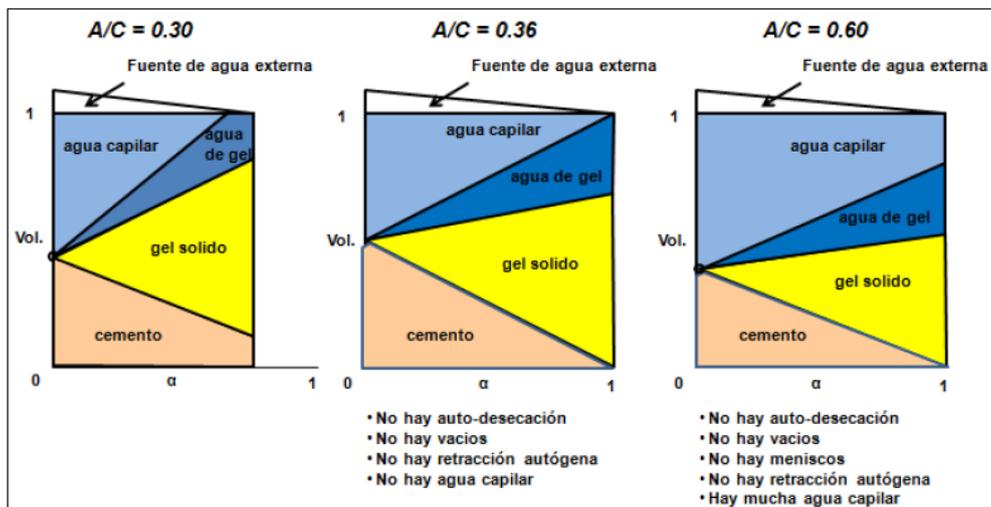


Figura 9. Análisis del desarrollo de la hidratación (α) de una pasta de cemento expuesta a un sistema abierto según Powers y colaboradores.

Para los concretos de resistencia normal (menores de 35 Mpa), el máximo grado de hidratación de la pasta es 1 ó 100%, que se alcanza después de muchos años. En concretos de alta resistencia, ya sea en un sistema cerrado o en un sistema abierto, la hidratación puede no ser capaz de continuar debido a la carencia de agua, que es necesaria para la hidratación completa del cemento. En tal caso, el grado de hidratación puede solamente proceder hasta $\alpha < 1$ (por ejemplo, un grado de hidratación $\alpha_{max} = 0.5$ para una relación A/C = 0.21) (Trujillo R., 2011).

Durante la reacción de hidratación, el agua fluye por la red de capilares finos, dentro de los cuales los poros que se forman generan grandes esfuerzos de tensión en un medio en el que la resistencia a estos esfuerzos es prácticamente nula. Estos esfuerzos son los responsables de la retracción volumétrica aparente y cuando se detiene la reacción de hidratación, la retracción autógena comienza, debido a la falta de disponibilidad de agua en este sistema cerrado, ya que el agua en el exterior no alcanza el interior del concreto. El efecto desfavorable de la escasez de agua, combinado con el calor de hidratación y la auto desecación, afectan las propiedades mecánicas y la durabilidad; disminuyendo la resistencia a la compresión, aumentando la porosidad, resultando, en consecuencia, en un concreto más susceptible al agrietamiento. Esto es característico en concretos con relaciones agua / cemento bajas (menores que 0.42), el agua de curado o neblina en los primeros días no es perceptible para mejorar las propiedades en estos concretos, por ello la importancia de un curado satisfactorio (Trujillo R., 2011).

Debido a que las propiedades del concreto a edades tempranas son de vital importancia para el mejor desempeño durante su vida útil, y ya que el curado convencional es insuficiente para contrarrestar la retracción autógena en los concretos de alta resistencia, en las investigaciones antecedentes estudiadas el curado interno ha sido propuesto como un método de curado para mitigar este fin. Con la intención de proveer a la industria de la construcción local herramientas que involucren procedimientos y materiales disponibles y dar una alternativa de solución a este problema (Trujillo R., 2011).

2.2.4. Velocidad de secado del concreto (deseccación del concreto)

El concreto no se endurece o se cura con el secado. El concreto (o más precisamente el cemento en él) necesita de humedad para hidratarse y endurecerse. Cuando el concreto pierde humedad, la resistencia para de crecer; el hecho es que el secado no indica que

haya ocurrido suficiente hidratación para que se obtengan las propiedades físicas deseables (Kosmatka, y otros, 2004).

El conocimiento de la velocidad de desecación (tasa de secado) es útil para el entendimiento de las propiedades o condiciones físicas del concreto. Por ejemplo, como se mencionó, el concreto necesita tener suficiente humedad durante el periodo de curado para que el concreto se hidrate hasta que se puedan lograr las propiedades deseables. Los concretos recién colocados normalmente tienen abundancia de agua, pero a medida que el secado progresa de la superficie hacia el interior del concreto, el aumento de resistencia continúa solo hasta cada profundidad, desde que la humedad relativa en aquella profundidad permanezca arriba de los 80%.

Mientras que la superficie del elemento de concreto se seca rápidamente, mucho más tiempo es necesario para el secado de su interior. La Figura N°10, muestra la tasa de secado en varias profundidades en cilindros de concreto expuestos al ambiente de laboratorio. Así, Los miembros de concreto en estructuras tendrían perfiles de secado distintos debido a las condiciones ambientales, los efectos del tamaño y las propiedades del concreto.

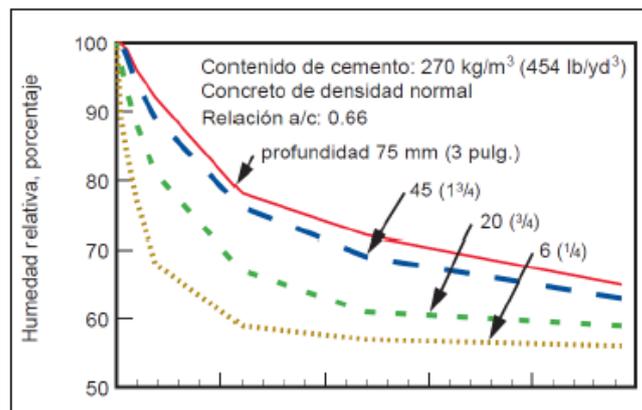


Figura 10. Distribución de la humedad relativa, retracción (contracción, encogimiento) Por secado (desecación) y pérdida de masa de cilindros de 150 x 300-mm (6 x 12-pulg.) sometidos a curado húmedo por 7 días y posteriormente al secado al aire del laboratorio a 23°C (73°F). (Hanson, 1968)

La cantidad de humedad en el concreto depende de sus componentes, cantidad original de agua, condiciones de secado y el tamaño del miembro de concreto (Hedenblad, 1998) y después de varios meses de secado al aire con humedad relativa entre el 50% y 90%, la cantidad de humedad es cerca del 1% al 2% del peso del concreto.

El tamaño y la forma de los miembros de concreto desempeñan un papel importante en la velocidad de secado. Los elementos con área superficial grande con relación a su volumen (como en los pisos o losas) se secan mucho más rápidamente que los miembros con gran volumen de concreto y relativamente pequeñas áreas superficiales (como en los estribos de los puentes, placas, columnas, vigas). Muchas otras propiedades del concreto endurecido también son afectadas por la cantidad de humedad, tales como elasticidad, fluencia (flujo plástico, deformación diferida), valor de aislamiento, resistencia al fuego, resistencia a abrasión, conductividad eléctrica, resistencia al congelamiento (congelación), resistencia al descascaramiento (descascarillado, astilladura, desonchadura, despostilladura, engalletamiento y desmoronamiento) y resistencia a reactividad álcali-agregado (Kosmatka, y otros, 2004).

2.2.5. Porosidad de la pasta

Según RIVVA LOPEZ, (II Congreso Internacional de la CONSTRUCCIÓN Y EXPOCON 2004- Naturaleza y Materiales del Concreto, pág. 12-14). 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.

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:

2.2.5.1 Poros por aire atrapado.

Durante el proceso de mezclado una pequeña cantidad de aire, del orden 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. En la misma categoría general de poros por aire atrapado, aunque estrictamente no lo son, algunos especialistas incluyen las fisuras u oquedades que en algunas oportunidades se observan debajo del agregado grueso. Ellas han sido formadas por el agua que se ha almacenado debajo de éste y posteriormente se ha secado.

2.2.5.2 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.

Las burbujas de aire incorporado son generalmente de perfil esférico, con diámetros variables que corresponden a un valor promedio de 0,08 a 0,10 mm. Su volumen en la unidad cúbica de concreto puede ocupar hasta más del 5% de la misma, pudiendo encontrarse en un concreto con 5% de aire incorporado valores del orden de 330 mil burbujas de aire por centímetro cúbico de pasta. La razón principal del empleo de las burbujas de aire incorporado es que este sistema de poros el cual está muy estrechamente espaciado permite un incremento significativo de la durabilidad del concreto al crear un gran número de cámaras en las que se puede congelar el agua presente en los poros capilares, evitando que la tensión generada por la conversión de agua a hielo contribuya a agrietar el concreto.

Ventajas adicionales incluyen el que los poros de aire incorporado tienden a incrementar la trabajabilidad, plasticidad y fluidez de las mezclas; disminuyen la consistencia permitiendo la reducción de agua sin pérdida de la consistencia original; reducen la segregación del agregado; y disminuyen la exudación de las mezclas. El principal inconveniente de la presencia de burbujas de aire en la mezcla de concreto es que éstas, al incrementar la porosidad, tienden a disminuir las resistencias mecánicas en un 5% por cada 1% de aire incorporado. Esta disminución es más significativa en las mezclas ricas y tiende a disminuir conforme la mezcla es más pobre, ello principalmente debido a que al mejorar las propiedades al estado fresco permiten una reducción en el contenido de agua con la consiguiente reducción en la relación agua-cemento.

2.2.5.3 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 ocupados 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 éstos 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:

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

2.2.5.4 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, humedecimiento o secado del concreto, siendo el agua más fácilmente removible por secado conforme el capilar aumenta de diámetro. La porosidad característica del gel, nominalmente no inferior al 28%, es el límite inferior de la porosidad total que puede ser alcanzada por la pasta en aquellos casos en que, gracias a una adecuada combinación de una relación agua-cemento inicial muy baja y un curado prolongado, la porosidad capilar podría ser reducida a un mínimo. En la práctica la porosidad de la pasta es siempre mayor al 28%, variando en un buen concreto entre 30% y 40%, con lo que la permeabilidad de tales pastas generalmente será la del gel en sí mismo.

Adicionalmente deberá tenerse en consideración que en el proceso de secado del concreto endurecido, los poros mayores que contienen agua tenderán a vaciarse más rápidamente que los menores. En cambio, en el proceso de humedecimiento de un concreto seco, la alta capilaridad de los poros muy pequeños produce una gran fuerza de impulso para el movimiento de agua, el mismo que trata de ser impedido por la baja permeabilidad del sistema adyacente compuesto de poros muy pequeños, dando como resultado que los poros menores tiendan a llenarse muy lentamente.

2.2.5.5 Importancia de la porosidad.

El agua presente en los poros gel está tan firmemente unida que no se evaporará bajo condiciones de secado que eliminarían casi toda el agua de los poros mayores. Esta agua puede ser considerada para efectos prácticos como agua químicamente combinada. En el caso de los poros por aire atrapado, estos tienen tan baja propensión a retener agua que pueden considerarse virtualmente vacíos.

Los poros de aire incorporado, cuyo rango de diámetros está entre el de los poros capilares y el de los poros gel, no retienen agua ni están interconectados, pudiéndoseles considerar como virtualmente vacíos. El contenido de agua de los poros capilares se incrementa o disminuye por humedecimiento o secado del concreto, siendo el agua más fácilmente removible por secado conforme el capilar aumenta de diámetro.

La porosidad característica del gel, nominalmente no inferior al 28%, es el límite inferior de la porosidad total que puede ser alcanzada por la pasta en aquellos casos en que, gracias a una adecuada combinación de una relación agua-cemento inicial muy baja y un curado prolongado, la porosidad capilar podría ser reducida a un mínimo. En

la práctica la porosidad de la pasta es siempre mayor al 28%, variando en un buen concreto entre 30% y 40%, con lo que la permeabilidad de tales pastas generalmente será la del gel en sí mismo. Adicionalmente deberá tenerse en consideración que en el proceso de secado del concreto endurecido, los poros mayores que contienen agua tenderán a vaciarse más rápidamente que los menores.

En cambio, en el proceso de humedecimiento de un concreto seco, la alta capilaridad de los poros muy pequeños produce una gran fuerza de impulso para el movimiento de agua, el mismo que trata de ser impedido por la baja permeabilidad del sistema adyacente compuesto de poros muy pequeños, dando como resultado que los poros menores tiendan a llenarse muy lentamente. Los macroporos tienen muy pequeña capilaridad y, por tanto, dan origen a una fuerza de impulso para el movimiento del agua.

Adicionalmente, como suelen estar rodeados de un sistema poroso de permeabilidad restringida, ello se une a lo anterior para reducir la velocidad de movimiento del agua en los macroporos, excepto aquellos que se encuentran muy cerca de la superficie. Finalmente, es importante indicar que los macroporos de un elemento de concreto, incluyendo los poros por aire incorporado, permanecen sin llenarse aún en los concretos sumergidos en agua. Los poros de tamaño intermedio tienden a llenarse más fácilmente que los poros de diámetro muy pequeño.

2.2.6. Diferentes tipos de agua en el Concreto. [Rivva, E. 2004:254]

El agua está presente durante todo el ciclo de vida del concreto. Empieza durante el mezclado, continúa durante el curado y se perpetua durante el servicio ya sea voluntariamente (canales presas, etc.) o involuntariamente en la forma de precipitaciones o contacto con cuerpos de agua.

2.2.6.1 Agua de mezclado.

El comité 116 del American Concrete Institute (ACI-116) define agua de mezclado como el agua presente en concreto, mortero en estado fresco en adición a cualquier agua absorbida por el agregado. Esta agua primero llena los espacios entre las partículas sólidas (materiales cementantes, y agregados) y después crea una película entre ellas que las separa. Este último efecto lubricante es lo que hace una mezcla trabajable.

2.2.6.2 Agua de hidratación.

Una vez que el agua de mezclado y los materiales cementantes entran en contacto, diferentes reacciones químicas se llevan a cabo. El agua que era originalmente agua de mezclado se transforma en diferentes tipos de agua a medida que la hidratación ocurre. Parte del agua pasa a estar químicamente combinada en el principal compuesto que otorga resistencia al concreto, silicatos de calcio hidratados. Otra parte del agua es adsorbida en la superficie de los productos de hidratación y la otra parte queda atrapada en los poros capilares originados durante la hidratación. Dichos capilares se forman debido a que el volumen de los productos de hidratación es menor que el volumen de los materiales previos a la hidratación.

2.2.6.3 Agua de curado

Según Neville (1996), el objetivo del agua de curado es mantener el concreto en condición saturada de manera que los espacios originalmente llenos de agua se llenen de productos de hidratación. Si dicha agua no está presente, se detiene la hidratación dejando excesiva porosidad que reduce las propiedades mecánicas y durabilidad del concreto.

2.2.6.4 Agua de servicio.

En la mayoría de los casos el concreto estará expuesto a agua durante su vida útil, ya sea porque es parte de estructuras para el manejo y distribución de agua (presas, canales, tuberías) o porque está expuesto al ambiente donde agua de precipitaciones, subterráneas y superficiales entrarán en contacto con el concreto.

2.2.7. Curado del Concreto.

El curado es el mantenimiento de la temperatura y del contenido de humedad satisfactorios, por un periodo de tiempo que empieza inmediatamente después de la colocación y del acabado, para que se puedan desarrollar las propiedades deseadas en el concreto. Siempre se debe enfatizar la necesidad de curado pues tiene una fuerte influencia sobre las propiedades del concreto endurecido, o sea, el curado adecuado hace que el concreto tenga mayor durabilidad, resistencia, impermeabilidad, resistencia a abrasión, estabilidad dimensional, resistencia a congelación-deshielo y a descongelantes.

Cuando el cemento portland se mezcla con el agua, empieza una reacción química, llamada de hidratación. El grado de hidratación tiene influencia sobre la resistencia y la durabilidad del concreto. El concreto recién mezclado normalmente contiene más agua que la requerida para la hidratación del cemento, sin embargo, la pérdida excesiva de agua por evaporación puede disminuir o prevenir la hidratación adecuada. La superficie es particularmente susceptible a la hidratación insuficiente porque se seca primero. Si la temperatura es favorable, la hidratación es relativamente rápida en los primeros días después de la colocación del concreto. Por lo tanto, es importante que se retenga agua en el concreto durante este período, o sea, se debe evitar la evaporación o reducirla considerablemente. Con el curado adecuado, el concreto se vuelve más impermeable y más resistente a esfuerzos, a abrasión y a congelación-deshielo. El desarrollo de las propiedades es muy rápido en los primeros días, pero después continúa más lentamente por un periodo de tiempo indefinido (Figura N°11) muestra el desarrollo de la resistencia con relación a la edad.

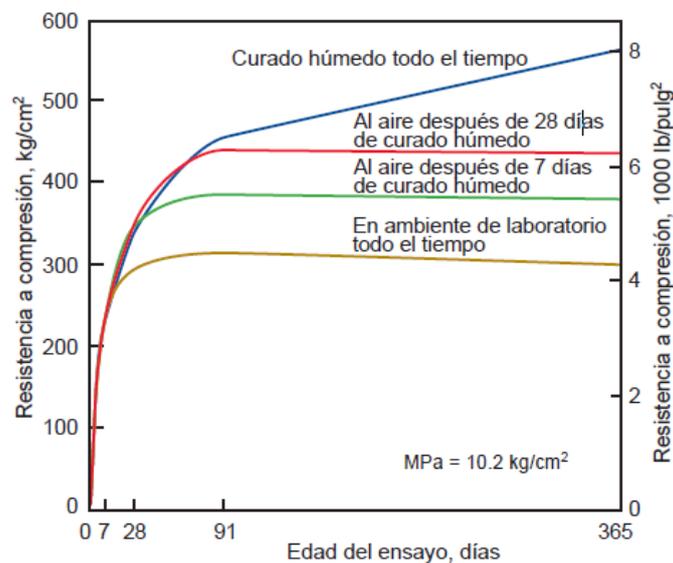


Figura 11. Efecto del tiempo de curado húmedo sobre el desarrollo de la resistencia del concreto (Gonnerman y Shuman 1928).

Las mezclas de concreto con baja relación agua-cemento (menor que 0.40) pueden necesitar de un curado especial. A medida que el cemento se hidrata (combinación química con el agua), la humedad relativa interna disminuye, causando la autodesecación (secado) de la pasta, si no se suministra agua externa. La pasta se puede desecar hasta un nivel que la hidratación se paraliza. Esto puede influenciar las propiedades del concreto, especialmente si, durante los primeros siete días, la humedad

relativa interna baja para menos del 80%. En vista de eso, los compuestos de curado formadores de membrana pueden no retener suficiente agua en el concreto. Por lo tanto, se hace necesario un curado húmedo para maximizar la hidratación (Copeland y Braga 1955).

2.2.7.1 Métodos y materiales de curado.

Se puede mantener el concreto húmedo (y en algunos casos a una temperatura favorable) a través de tres métodos de curado:

1. Métodos que mantienen el agua de la mezcla (agua de mezclado) presente durante los períodos iniciales de endurecimiento. Entre éstos se incluyen encharcamiento o inmersión, rociado, aspersion o niebla y coberturas saturadas de agua. Estos métodos permiten un cierto enfriamiento a través de la evaporación, que es benéfico en clima caluroso.
2. Métodos que reducen la pérdida del agua de la mezcla de la superficie del concreto. Esto se puede hacer cubriéndose el concreto con papel impermeable o plástico o a través de la aplicación de compuestos formadores de membrana.
3. Métodos que aceleran el desarrollo de la resistencia a través del suministro de calor y humedad adicional al concreto. Esto se realiza normalmente con vapor directo, espirales (serpientes) de calentamiento o cimbras (encofrados) o almohadilla calentados eléctricamente.

Encharcamiento e Inmersión

En superficies planas, tales como pavimentos y losas, se puede curar por encharcamiento. Los diques (bordos) de arena o suelo alrededor del perímetro de la superficie del concreto pueden retener el agua del encharcamiento, método ideal para prevenir la pérdida de humedad y es eficiente para mantener la temperatura del concreto. El agua de curado no debe estar 11°C (20°C) más fría que el concreto para evitar las tensiones térmicas que pueden generar fisuras. Como el encharcamiento requiere mucho trabajo y supervisión, este método sólo se lo emplea en pequeñas obras. El método de curado con agua, más minucioso, consiste en la inmersión total del elemento de concreto. Este método se usa normalmente en laboratorio para el curado de especímenes (probetas) de ensayo. Cuando la apariencia del concreto es importante, el agua utilizada en el curado por encharcamiento o inmersión debe estar libre de sustancias que manchen o decoloren el concreto.

Rociado o Aspersión

El rociado y la aspersión con agua son excelentes métodos cuando la temperatura ambiente está bien arriba de la temperatura de congelación y la humedad es baja. Frecuentemente, se aplica una llovizna fina a través de un sistema de rociadores para aumentar la humedad relativa del aire, disminuyendo la evaporación de la superficie. El rociado se aplica para minimizar la fisuración. Una vez que el concreto se haya endurecido suficientemente para prevenir la erosión por el agua, se pueden usar las mangueras para regar son útiles para superficies verticales o casi verticales.

Compuestos de Curado Formadores de Película

Los compuestos líquidos formadores de membranas a base de parafinas, resinas, hules (gomas) coloreadas y otros materiales se pueden usar para impedir o reducir la evaporación de la humedad del concreto. Los compuestos de curado deben ser capaces de conservar la humedad relativa de la superficie del concreto superior al 80% por siete días, para sostener la hidratación del cemento.

Los compuestos formadores de película son, en general, de dos tipos: transparentes o translúcidos y pigmentados de blanco. Los compuestos transparentes o translúcidos pueden contener un tinte inestable que facilita la verificación visual del área cubierta por la película. El tinte se destiñe enseguida a la aplicación. En días calientes y soleados, se recomienda el empleo de compuestos blancos, pues reducen el aumento del calor provocado por el sol, reduciendo la temperatura del concreto. Se deben agitar los recipientes de los compuestos pigmentados, para que no se asienten en el fondo.

Los compuestos de curado se deben aplicar inmediatamente después del acabado final del concreto, a través de equipos rociadores operados manualmente o por propulsión mecánica. La superficie del concreto debe estar húmeda, cuando se aplica la capa.

Curado por Humedad Interna

El curado por humedad interna se refiere a métodos que dan humedad desde el interior del concreto y no desde su exterior. Esta agua no debe afectar el agua inicial de la relación agua-cemento del concreto fresco. Los agregados finos ligeros (livianos de baja densidad) o partículas de polímeros absorbentes, con capacidad de retener una cantidad

significativa de agua, pueden suministrar humedad adicional a los concretos propensos a auto-deseccación. Cuando se hace necesaria una hidratación más completa en concretos con baja relación agua-cemento de agregado fino ligero saturado pueden suministrar humedad adicional para la continuación de la hidratación, resultando en un aumento de la resistencia y de la durabilidad. El curado por humedad interna se debe acompañar por métodos de curado externos.

2.2.8. Curado interno del concreto.

El curado interno consiste en incorporar a los concretos ingredientes con pequeñas reservas de agua dentro de la mezcla de concreto, como lo son los agregados porosos (agregados ligeros) arcillas expandidas o polímeros súper absorbentes que sirvan como agentes de curado. Este agente puede ser cualquier componente (aditivo o agregado especial) o un agregado normal introducido dentro de la mezcla de concreto en estado saturado. (Trujillo R., 2011).

Los beneficios de curar internamente el concreto van más allá de solo mejorar la resistencia a la compresión. Principalmente, se logra un mayor grado de hidratación y una reducción de la permeabilidad; incrementando así la impermeabilidad del matriz cementante, tal como se explica en el ítem 2.2.9 de durabilidad del concreto. Según Aldana:

El concepto de Philleo de curado interno del concreto (1991) se ilustra esquemáticamente en la siguiente (Figura N° 12), donde el agua de curado externo sólo es capaz de penetrar varios mm bajo el nivel del concreto, mientras que el curado interno permite que el agua sea distribuida de manera más equitativa a través de la sección transversal. A mediados de la década de 1990, una gran variedad de grupos de investigación en Alemania, los Países Bajos, e Israel se habían dedicado a investigar el curado interno mediante el uso de agregados ligeros pre-humedecidos. Unos años después de eso, se investigaron otros materiales que podrían funcionar como reservorios de agua internos, tales como polímeros súper absorbentes (Jensen, y otros, 2002).

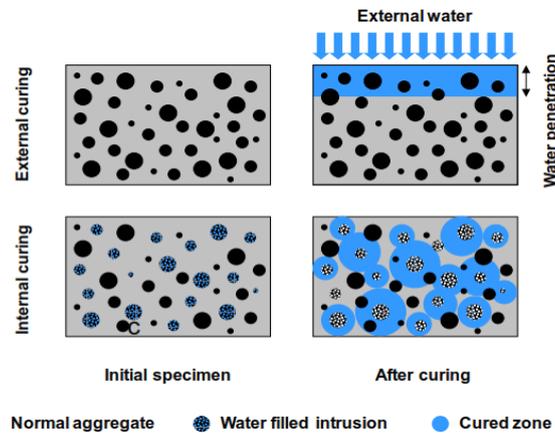


Figura 12: Grafico del Concepto de curado interno y curado externo. External curing: Curado externo, Internal curing: curado interno, external water: agua externa, water penetration: penetración de agua externa, initial specimen: espécimen en el inicio, after curing, después del curado. - Robert Philleo, 1991. (Aldana, 2014)

2.2.8.1 Filosofía del curado interno.

- Modelo de Powers.

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

Por ejemplo, para un grado de hidratación igual a cero, hay solamente cemento y agua, y su volumen está dado por el volumen de cada uno de ellos adicionado originalmente. Para un grado de hidratación completo (100 %), el volumen de cemento es cero, y el volumen de productos de hidratación es aproximadamente 0.68 cm³ por gramo de cemento originalmente adicionado y el volumen de porosidad (en los productos de hidratación y capilares) está dado por la razón agua – cemento (A/C). Dicha razón determina el espaciamiento inicial entre las partículas de cemento y por lo tanto el espaciamiento dentro de la pasta de cemento (porosidad) después de que el cemento se ha hidratado.

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

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

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

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

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

- Principios del curado interno.

Dada la importancia del agua de curado y la dificultad de proveerla desde el exterior en concretos de alta resistencia, la idea de proveer agua desde el interior de concretos cobra una especial importancia (Weber y Reinhardt, 1997) A partir del Modelo de Powers se concluye que a menor A/C, menor es la porosidad capilar. Por otro lado, del mismo modelo se puede observar que a A/C bajas puede no existir suficiente agua para hidratar todo el cemento. De lo anterior se tiene que al momento de mezclado se requiere de una A/C lo más baja posible, pero al cabo de un tiempo cuando el agua se ha acabado se requiere de agua adicional para continuar con la hidratación (Bentz y Snyder, 1999; Jensen y Hansen, 2001b).

Así, el principio fundamental del curado interno es el incorporar agua en la mezcla que no está disponible para la hidratación al comienzo (baja A/C), pero que es liberada más tarde cuando es requerida para continuar la hidratación. Bentz y Snyder (1999) destacaron la importancia de una aplicación del curado interno de manera homogénea. No es suficiente el contar con el agua al interior del concreto, sino que ésta debe encontrarse disponible para la hidratación. La mayoría de los granos de materiales cementantes deben estar cercanos a la fuente de almacenamiento de agua ya que la distancia de viaje del agua es muy variable.

Lura et al., (2003) midieron desplazamiento de agua desde la fuente de almacenamiento de hasta 4 mm en mezclas de A/C de 0.3. Sin embargo, ellos concluyeron que el transporte de agua dentro del concreto está afectado por factores como: (a) permeabilidad de la mezcla, la cual se reduce a medida que la hidratación continúa; (b) W/C y; (c) uso de microsílica u otros materiales cementantes. La distancia de viaje del agua dentro del concreto puede ser entonces reducida a los niveles reportados por Bentz y Snyder (1999) de tan sólo 0.1 a 0.2 mm.

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

- Métodos para incorporar agua en el concreto.

En la sección anterior se explica el mecanismo del curado interno. Ahora, se revisan diferentes métodos de incorporar el agua dentro del concreto. De acuerdo con Bentz y Snyder (1999), Philleo fue el primero en sugerir la idea de curado interno en 1991, mediante el uso de agregado liviano. Desde entonces, diversos autores han estudiado el uso de agregado liviano como método de incorporar agua en el concreto (Weber y Reinhardt, 1997; Khono et al., 1999; Bentz y Snyder, 1999; Bentur et al., 2001;

Zhutovsky et al., 2002; Lura et al., 2003; Hoff, 2003; Holm et al., 2003; López et al., 2006). Estos autores han explorado el uso de agregado liviano natural y artificial, agregado liviano fino y grueso, y el reemplazo parcial o total de agregado normal por agregado liviano.

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

El agua busca espontáneamente niveles de energía más bajos; por ello en el concreto el agua se mueve desde los poros más grandes a los más pequeños.

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

Una de las posibles desventajas de reemplazar agregado normal por liviano es que la resistencia y módulo de elasticidad del concreto disminuyen (ACI- 213, 2003; Aïtcin, 1997; Shah y Ahmad, 1994; Holm y Bremner, 2000). Los polímeros súper absorbentes surgen, así como una alternativa a los agregados livianos como agente incorporador de agua (Jensen y Hansen 2001b, 2002).

Hay una gran variedad de polímeros súper absorbentes, ellos pueden absorber hasta 5000 veces su peso en agua dependiendo de su estructura. Sin embargo, la mayor cantidad de estos polímeros es actualmente utilizada en pañales desechables donde alcanzan absorciones de alrededor 50 veces su peso en agua (5000 %). Estos polímeros se incorporan en estado seco a la mezcla como un aditivo más. Su tamaño promedio en estado seco puede estar entre 0.1 y 0.25 mm lo que puede aumentar hasta 3 veces después que han absorbido el agua (Jensen y Hansen 2002). Una vez que el polímero súper absorbente ha entregado el agua a la pasta cementante, deja una porosidad que según Jensen y Hansen (2003), puede ser comparada a la porosidad de un aditivo incorporador de aire. La principal ventaja que estos polímeros presentan por sobre los

agregados livianos es la mayor absorción que resulta en el uso de menores cantidades en el concreto para incorporar el mismo volumen de agua de curado. Por otro lado, los polímeros súper absorbentes pueden presentar problemas de segregación debido a su baja densidad (Jensen y Hansen, 2002). Otro problema es que su absorción en presencia de los materiales cementantes puede ser menor a la esperada incrementando la W/C en la mezcla. Lo anterior puede en parte explicar la reducción en resistencia a compresión de 19 % medida por Jensen y Hansen (2002) en sus mezclas cuando se utilizó polímeros súper absorbentes para curado interno.

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

2.2.8.2 Métodos de curado interno.

Como el agente de curado interno es una parte del sistema y es dispersado finamente, se puede superar el problema de la baja permeabilidad en sistemas con baja relación a/c, que afecta nocivamente a la eficiencia del curado externo tradicional. El suministro de agua interna puede ser considerado como el método más eficaz para reducir la contracción autógena. Los métodos más populares de curado interno en el concreto que se están utilizando en la actualidad, son a partir de la saturación de agregados y polímeros súper absorbentes los cuales se introducen brevemente en los siguientes métodos.

En el estado del arte publicado en el reporte 41: Internal Curing of concrete -State-of-Art emitido por el (RILEM, 2007), International union of laboratories and experts in construction materials, systems and structures; se exponen los siguientes métodos de curado interno:

Curado interno utilizando agregados saturados

El agregado utilizado en una mezcla de concreto convencional, puede contener agua interna útil como agua de curado interno. Incluso los agregados de peso normal,

previamente saturados, pueden servir como agentes de curado interno y reducir la contracción autógena en cierta medida. Sin embargo, los agregados livianos que tienen una alta porosidad, incluidos en la mezcla como agentes de curado del concreto en estado saturado, son los agregados universalmente aceptados como agentes de curado interno por su mayor eficacia en esta labor (Kovler & Jensen, 2010). La idea de que la auto-deseccación puede ser contrarrestada mediante el uso de agregados ligeros pre-saturados, ha sido concebida por varios autores; los investigadores sugieren incorporar agregados finos de peso ligero en estado saturado, dentro de la mezcla de concreto, con el fin de proporcionar una fuente interna de agua suficiente que permita sustituir el volumen consumido por la contracción química durante la hidratación. A medida que se hidrata el cemento, el exceso de agua se extrae de los poros relativamente "grandes" del agregado liviano, pero ligeramente más pequeños que los de la pasta de cemento, reduciendo al mínimo el desarrollo de la contracción autógena debido a que las tensiones son controladas por el tamaño del poro vacío de menor tamaño, a través de la ecuación de Kelvin-Laplace. Este método ha sido referido como "curado autógeno". Recientemente, se han planteado hipótesis basadas en la relación entre la disminución de la auto-deseccación y la contracción autógena, la cual se presenta como efecto de la autodesecación. Se han realizado investigaciones con el fin de evaluar las deformaciones autógenas de concreto ligero producidos con agregados ligeros saturados y el concreto hecho con el agregado de peso normal, pero con una sustitución parcial del agregado por agregado ligero saturado, demostrando que el concreto de alta resistencia y sin contracción autógena podría obtenerse por ambos métodos de curado (Kovler & Jensen, 2010).

Curado interno utilizando polímeros súper absorbentes

Un nuevo método para la prevención de la auto-deseccación mediante el uso de partículas de polímero súper-absorbentes como aditivo para el concreto ha sido propuesto recientemente. Mientras se mezcla el concreto, las partículas de polímero súper absorbente absorben gran cantidad de agua y forman macro inclusiones que contienen agua libre. Esta agua libre se consume durante la hidratación del cemento, previniendo la auto-deseccación. Este concepto es análogo al arrastre de aire, usado para la protección contra las heladas de concreto, y por lo tanto se llama "arrastre de agua". En la misma medida, el término "arrastre de agua" puede ser aplicado para el método de agregado liviano pre-saturado descrito en el párrafo anterior (Kovler & Jensen, 2010).

Sellamiento interno

Este es un método de curado del concreto, que no necesita de curado aplicado externamente, pero tampoco se basa en la adición de agua para el concreto. Este concepto implica la adición de una sustancia química soluble en agua a la mezcla, lo que reducirá la evaporación de agua debido a la exposición del concreto al aire de secado. Los polímeros solubles en agua, tiene hidroxilo (-OH) y satisfacen los requisitos éter (-O-) de los grupos funcionales, encontrándose entonces expuestos a una "química auto-curadora", es decir, mejora la retención de agua en el concreto y aumenta el grado de hidratación. El enlace de hidrógeno se produce entre estos grupos funcionales reduciendo la presión de agua y la disminución de la evaporación. Estos aditivos alteran la morfología del gel C-S-H, reduciendo de la capacidad de absorción del concreto. Este método es llamado "autocurado" por algunos autores. Sin embargo, el término "autocurado" parece ser demasiado general y no refleja el mecanismo físico y químico principal de reducir la evaporación del agua por medio de sustancias químicas solubles en agua. Además, el término "autocurado" es similar al término "curado autógeno", que se utiliza a menudo en relación con la adición de agua de curado mediante el agregado ligero pre-saturado. Es por ello que se sugiere utilizar el término más específico "sellado interno" (Kovler & Jensen, 2010).

2.2.8.3 Efectos del curado interno.

Los efectos del curado interno en las propiedades del concreto derivan del aumento en el grado de hidratación alcanzado por los materiales cementantes. Esto produce un aumento en las propiedades mecánicas, disminución en la permeabilidad y reducción en las deformaciones de largo plazo como retracción y creep¹.

Efectos en resistencia a compresión

Weber y Reinhardt (1997) investigaron el curado interno en una mezcla de concreto de alta resistencia. La mezcla consideró una W/CM de 0.3 y un 10 % de microfílice. Además, una fracción del agregado fino fue reemplazada por agregado liviano saturado de manera de aplicar un curado interno. Se comparó la resistencia de probetas sometidas a tres regímenes de curado: (a) selladas inmediatamente después de desmoldar, (b) mantenidas bajo condiciones de secado después de desmoldar, y (c) curadas inmersas en agua por 6 días después de desmoldar. Al cabo de un año las diferencias en resistencia a compresión fueron del orden del 3 % lo que demuestra que el efecto del curado externo

no es significativo si se cuenta con un adecuado curado interno. López et al., (2006), compararon la resistencia entre dos hormigones livianos de alta resistencia, uno con curado interno y el otro sin.

Las mezclas consideraron una W/CM de 0.23, cemento de alta resistencia temprana, microsilíce y ceniza volante. Se consideró además dos tipos de agregado, arena silíce como agregado fino y pizarra expandida como agregado liviano grueso. Con el objetivo de medir el efecto del curado interno, una de las mezclas utilizó el agregado liviano en condición saturada para proveer curado interno mientras que la otra utilizó el agregado en condición seca al aire.

La mezcla que recibió el curado interno presentó una resistencia 1 y 12 % mayor que la mezcla sin curado interno para las edades de uno y 365 días, respectivamente. Esto quiere decir que a la edad de un día cuando las probetas fueron recién desmoldadas, la diferencia entre las dos mezclas fue despreciable, pero al cabo de un año las probetas que recibieron curado interno alcanzaron una resistencia a compresión considerablemente mayor.

Efectos en porosidad

Weber y Reinhardt (1997) midieron el cambio de la porosidad en hormigones de alta resistencia sometidos a curado interno. Ellos concluyeron que, a pesar de no contar con ningún tipo de curado externo, la porosidad total se redujo entre 180 y 365 días, demostrando un aumento en el grado de hidratación.

Ellos además observaron que los poros de mayor diámetro disminuyeron y los de menor diámetro aumentaron, lo que implica una disminución en el tamaño promedio de los poros y la consiguiente disminución de la permeabilidad del concreto.

Efectos en retracción autógena

Una de las principales ventajas del uso de curado interno en hormigones de alta resistencia es la reducción o eliminación del secado y retracción autógenos. Varios autores han investigado el uso de diferentes métodos de curado interno en la retracción autógena (Khono et al., 1999; Bentz y Snyder, 1999; Bentur et al., 2001; Jensen y Hansen 2002; Zhutovsky et al., 2002).

Todos concluyeron que las mezclas con agregado liviano saturado o polímeros súper absorbentes presentaron considerablemente menos retracción autógena que las contrapartes sin curado interno. En algunos casos la retracción autógena fue completamente eliminada (Jensen y Hansen, 2002; Bentur et al., 2001) como se muestra en la Figura N°13. La disminución o eliminación de la retracción autógena se debe a

que la fuente del curado interno no permite que la humedad relativa decrezca en el sistema de poros. Cuando los poros comienzan a secarse, nueva agua proveniente de la fuente de curado interno los mantiene saturados.

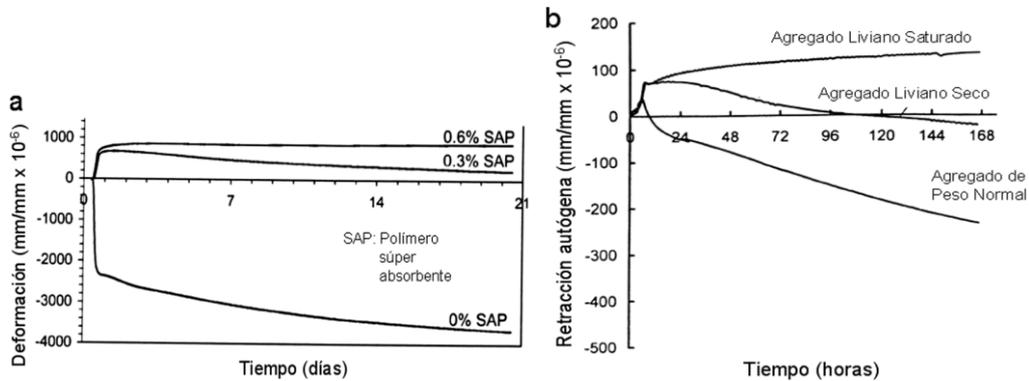


Figura 13. Efecto del curado interno en la retracción autógena en (a) Pasta de cemento (Jensen y Hansen, 2002) y en (b) Hormigón (Bentur et al., 2001)

Cabe destacar que las mezclas sometidas a curado interno mostradas en la Figura N°13, no sólo no demostraron retracción autógena, sino que experimentaron expansión. Esto puede actuar como una “reserva” de deformaciones cuando las mezclas están sometidas a retracción hidráulica y/o creep. Dichas deformaciones tendrán primero que contrarrestar la expansión producida por curado interno antes de causar acortamiento aparente en el concreto.

Efecto en agrietamiento

Algunos autores han investigado el efecto del curado interno en la tendencia al agrietamiento. Dicha susceptibilidad se mide en probetas bajo retracción restringida. Cuando la probeta intenta contraerse, un sistema externo impide dicha deformación. Como resultado la probeta desarrolla tensiones de tracción que una vez que superan la resistencia de la probeta, se produce rotura en forma de agrietamiento.

Jensen y Hansen (2002) realizaron pruebas de retracción restringida en morteros con y sin curado interno. Los resultados de Jensen y Hansen son presentados en la Figura N° 14-a. La probeta de mortero sin curado interno se agrietó después de sólo 3.5 días bajo retracción autógena con una tensión equivalente a 1.5 MPa en tracción. La probeta con polímero súper absorbente (0.6 % del peso de cemento) no sólo no se agrietó en 20 días de monitoreo, sino que además alcanzó una tracción de solamente 0.1 MPa. Bentur et al., (2001) compararon la tendencia a agrietamiento de diferentes mezclas de hormigón de alta resistencia de W/CM de 0.33 con microsílca. Una de las mezclas consideró sólo agregado de peso normal (fracciones gruesa y fina) y otras dos el total reemplazo del

agregado grueso por arcilla expandida. La primera de las mezclas con agregado liviano utilizó el agregado en condición saturada y la otra en condición seca al aire. La Figura 3b muestra los resultados de Bentur et al., (2001).

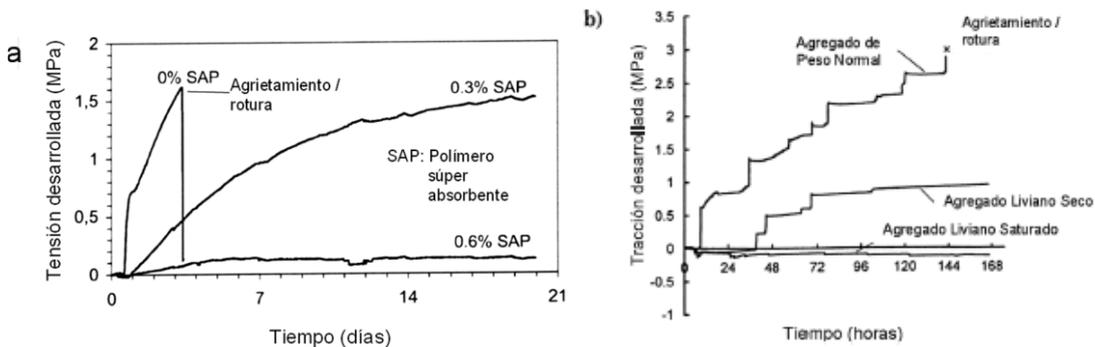


Figura 14. Efecto del curado interno en la susceptibilidad de agrietamiento en (a) morteros (Jensen y Hansen, 2002) y (b) hormigones (Bentur et al., 2001)

La mezcla con agregado normal y por lo tanto sin curado interno falló bajo una tracción de aproximadamente 3 MPa después de seis días. Ninguna de las mezclas con agregado liviano se agrietó en el período de monitoreo de siete días. Las mezclas con agregado liviano en estado saturado y seco desarrollaron tracción de 0.7 MPa y compresión de 0.15 MPa, respectivamente, lo que está lejos del valor de falla medido en la probeta con agregado normal.

2.2.9. COLADO EN CLIMA CALUROSO

Preparación antes del colado

Antes del colado del concreto en clima cálido, se deben tomar algunas precauciones para mantener o reducir la temperatura del concreto. Mezcladoras, canalones, esteras transportadoras, tolvas, líneas de bombeo y otros equipos para el manejo del concreto se deben proteger, pintar de blanco o cubrir con mantas húmedas para reducir el calor del sol. Las cimbras (encofrados), armaduras y subrasantes se deben rociar con agua fría un poco antes de la colocación del concreto. El rociado del área durante las operaciones de colado y acabado no sólo enfría las superficies de contacto y el aire circundante como también aumenta la humedad relativa. Esto disminuye el aumento de la temperatura del concreto y minimiza la tasa de evaporación del agua del concreto. En losas sobre el terreno, el humedecimiento de la subrasante en la noche anterior a la colocación es una buena práctica. No debe haber agua libre ni charcos en la cimbra (encofrado) o subrasante en el momento de la colocación del concreto. Durante periodos extremadamente cálidos, los resultados se pueden mejorar restringiéndose el colado por la

mañana temprano o por la noche, especialmente en climas áridos. Esta práctica resulta en menor contracción (retracción) térmica y menos fisuración de las losas y pavimentos gruesos.

Transporte, colado y acabado

Se debe transportar y colocar el concreto lo más rápido posible, durante el clima caluroso. Los retrasos contribuyen para la pérdida de revenimiento (asentamiento) y para el aumento de la temperatura del concreto. Se debe disponer de mano de obra y equipos suficientes para manejar y colocar el concreto inmediatamente después de su entrega. El mezclado prolongado incluso a la velocidad de agitación, se debe evitar. Si ocurren retrasos, se debe parar la mezcladora y después agitar intermitentemente para minimizar el calor generado por el mezclado. La ASTM C 94 (AASHTO M 157) requiere que la descarga del concreto sea en 1 1/2 hora o antes que el tambor se revolucione 300 veces, lo que ocurra primero. Durante el clima caluroso, el límite de tiempo se puede reducir para 1 hora o incluso hasta 45 minutos. Si se desea un límite específico de tiempo para la descarga, se debe incluirlo en la especificación de proyecto. También es razonable obtenerse datos de ensayo de las mezclas de prueba simulándose el tiempo, mezclado y anticipándose la temperatura del concreto, para que, si es necesario, se especifique una reducción en el límite del tiempo. Como el fraguado es más rápido en clima caluroso, se debe tomar un cuidado extra con las técnicas de colocación para prevenir juntas frías. En el colado de muros, se pueden especificar capas menos profundas para asegurar el tiempo suficiente para la consolidación con la capa anterior. Las sombrillas y parabrisas (pantallas) temporarios ayudan a minimizar la formación de juntas frías. El emparejado de las losas se debe efectuar inmediatamente después que el brillo del agua se haya desaparecido de la superficie o cuando el concreto pueda soportar el peso de la persona que va a hacer el acabado, con no más que 5 mm (3/4 pulg.) de deformación. El acabado en días secos y ventosos requiere más cuidados. El secado rápido de la superficie del concreto puede causar fisuración por contracción (retracción) plástica.

Curado y protección

El curado y la protección son más importantes en clima calurosos que en periodos templados. El mantener las cimbras (encofrados) en su lugar no se puede considerar un sustituto satisfactorio del curado en clima cálido. Se las debe retirar tan pronto como

posible sin causar daños al concreto. Entonces, se debe aplicar agua encima de la superficie expuesta, por ejemplo, con una manguera de regar suelo, permitiendo que se mueva hacia dentro de la cimbra. En el concreto endurecido y sobre superficies planas, el agua de curado no puede estar 11°C (20°F) más fría que el concreto. Esto va a minimizar la fisuración causada por tensiones térmicas debidas a diferencias de temperatura entre el concreto y el agua. La necesidad de curado húmedo es mayor durante las primeras horas después del acabado. Para prevenir el secado de las superficies expuestas, el curado húmedo debe comenzar tan pronto como se lo haya acabado y debe continuar por lo menos por 24 horas. En clima caluroso, es preferible el curado húmedo continuo durante todo el periodo de curado. Sin embargo, si el curado húmedo no puede continuar por más de 24 horas, mientras la superficie aún está húmeda, se debe proteger el concreto del secado a través de papel para curado, lámina plástica que refleja el calor o compuestos de curado formadores de membrana. Los compuestos de curado blancos se pueden usar sobre superficies horizontales. La aplicación de compuestos de curado durante el clima cálido se debe preceder en 24 horas de curado húmedo. Si esto no es práctico, se debe aplicar el compuesto inmediatamente después del acabado final. Las superficies de concreto deben estar húmedas. Las superficies curadas húmedas se deben secar lentamente después del periodo de curado para reducir las posibilidades de fisuración de la superficie. El afofado, una red de fisuras finas que no penetran muy debajo de la superficie, se causa por la contracción (retracción) de ésta. Estas fisuras son muy finas y difícilmente visibles excepto cuando el concreto se seca después que la superficie se ha mojado. Las fisuras rodean pequeñas áreas de concreto (menores que 50 mm [2 pulg.]), formando un padrón similar al pie del pollo.

2.3. Definición de términos básicos.

Curado. Mantener el concreto o el mortero a una temperatura y humedad adecuadas para asegurar su hidratación y endurecimiento adecuados.

Curado interno del concreto: Este tipo de curado consiste en almacenar agua al interior del concreto que no está disponible durante el mezclado o en las primeras etapas de hidratación, pero es liberada más tarde para el curado.

Curado sumergido en agua del concreto: Este curado consiste en seguir los procedimientos indicados en la Norma ASTM C 31. El cuál es el procedimiento para

curar especímenes cilíndricos de concreto sumergiéndolos en agua de curado. La Norma indica que Transcurridas 24 ± 8 horas después de elaborar los especímenes, éstos serían sacados de los moldes y se procede a realizar el curado por sumersión en agua que tenga una temperatura cercana a 21°C , para lo cual se puede saturar el agua con cal viva (ASTM C 31M–08a, 2008).

Curador. Líquido que aplicado por aspersion sobre el concreto fresco le permite alcanzar su resistencia de diseño sin utilizar el curado con agua durante 7 días. Este curador forma una película plástica o sello protector impermeable, flexible y muy resistente.

Agregado ligero. Agregado de baja densidad utilizado para producir concreto ligero. Incluye: pómez, escoria volcánica, tobas, diatomita, arcilla sintética o expandida, pizarra, traquita, perlita, vermiculita y productos de combustión de carbón.

Traquita. La **traquita** es una roca ígnea volcánica compuesta de feldespato potásico y otros minerales como plagioclasa, biotita, piroxeno y hornblenda. Tiene una dureza de grado 6 y es porosa.

Cemento portland. Cemento compuesto de una mezcla de caliza y arcilla, que fragua muy despacio y es muy resistente; Material de construcción compuesto de una sustancia en polvo que, mezclada con agua u otra sustancia, forma una pasta blanda que se endurece en contacto con el agua o el aire.

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 (Rivva, 2004 pág. 254).

Relación agua/cemento: 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 efectivo 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, 2010 p. 61).

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 (Rivva, 2004 pág. 254).

Aditivo plastificante. Son aditivos para concreto capaces de mejorar las propiedades del concreto. Se emplean para conferir al concreto fresco un mejor comportamiento en cuanto a trabajabilidad, pero también se busca con su uso mejorar significativamente la resistencia y la durabilidad del concreto final.

Absorción. La absorción de los agregados se obtiene generalmente después de haber sometido al material a una saturación de 24 horas, cuando ésta termina se procede a secar superficialmente el material y por diferencias de masa se logra obtener el porcentaje de absorción con relación a la masa seca del material.

Porosidad. La porosidad es una característica importante del concreto y de esta dependen en parte otras propiedades como la resistencia a la compresión y la durabilidad. Se sabe que la resistencia a la compresión es el dato más relevante para diseñar; asimismo, se debe tomar en cuenta la durabilidad.

Resistencia a Compresión. La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión.

La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi)

Resistencia a Flexión. La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (concreto). Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el

Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio).

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 (Rivva, 2004 p. 213).

CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS.

3.1 Localización

La investigación fue realizada en el laboratorio de ensayo de materiales “Carlos Esparza Díaz”, en el edificio 1C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en la Av. Atahualpa N°1050.

Los agregados de estudio se obtuvieron de la cantera “ROCA FUERTE” ubicado al sureste de la ciudad de Cajamarca, en la orilla del rio Mashicon, ubicado en el distrito de Baños del Inca, provincia y departamento de Cajamarca.



Figura 15. (a) Fotografía Satelital de la Ubicación de la cantera “Roca Fuerte;(b) Km 7.5- Carretera a Bambamarca obtención de la traquita

La traquita en estudio se obtuvo del km 7.5 de la carretera a Bambamarca al noreste de la ciudad de Cajamarca, ubicado en el distrito de Cajamarca, provincia y departamento de Cajamarca.

3.2 Metodología.

La investigación fue aplicada en su primera parte con un nivel descriptivo, luego explicativo y finalmente comparativo. Por la naturaleza de las variables fue una investigación de diseño experimental, teniendo en cuenta la influencia que presenta el adicionar traquita en proporciones de 7%, 12% y 17% en el agregado grueso.

3.2.1. Procedimiento

Para alcanzar a los objetivos planteados, se siguió el siguiente procedimiento o las siguientes actividades:

- a. Extracción y toma de muestras de agregado fino y agregado grueso en cantera.
- b. Transporte de las muestras al laboratorio Carlos Esparza Díaz.
- c. Determinación de las características físicas y mecánicas de los agregados.
- d. Elaboración de los diseños de mezcla.
- e. Preparación de las mezclas.
- f. Elaboración de los especímenes de concreto.
- g. Curado de algunos especímenes de concreto.
- h. Ensayos a compresión uniaxial de los especímenes de concreto a edades de 7, 14 y 28 días.
- i. Análisis y procesamiento de datos.
- j. Conclusiones y recomendaciones.

Para la elaboración de los diseños de mezcla se consideraron los siguientes diseños de mezcla:

- a) **Mezcla patrón:** Es aquella que no presenta ningún tipo de adición de traquita a la mezcla de concreto.
- b) **Mezcla con dosificación del 7%:** Este tipo de mezcla, corresponde a aquella que presenta una adición de 7% de traquita en el agregado grueso utilizado.
- c) **Mezcla con dosificación de 12%:** Este tipo de mezcla, corresponde a aquella que presenta una adición de 12% de traquita en el agregado grueso utilizado.
- d) **Mezcla con dosificación de 17%:** Este tipo de mezcla, corresponde a aquella que presenta una adición de 17% de traquita en el agregado grueso utilizado.

La distribución de los especímenes de concreto para su respectivo análisis y ensayo a la compresión, se realizó como se muestra en la tabla 1:

Cantidad de especímenes para ensayos de resistencia a la compresión				
Tiempo de rotura	7 días	14 días	28 días	total
Mezcla patrón inmersión	3	3	3	9
Mezcla patrón curador	3	3	3	9
Mezcla con dosificación de 7%:	6	6	6	18
Mezcla con dosificación de 12%:	6	6	6	18
Mezcla con dosificación de 17%:	6	6	6	18
TOTAL			72	

Tabla 1. Cantidad de especímenes ensayo de compresión. Fuente: elaboración propia.

Para la elaboración de especímenes ensayo de flexión se consideraron los siguientes diseños de mezcla:

- a) **Mezcla patrón:** Es aquella que no presenta ningún tipo de adición de traquita a la mezcla de concreto.
- b) **Mezcla con dosificación óptima de traquita:** Este tipo de mezcla, corresponde a aquella que presenta una adición óptima de traquita en el agregado grueso a los 7 días utilizado.

La distribución de los especímenes de concreto para su respectivo análisis y ensayo a la flexión, se realizó como se muestra en la tabla 2:

Cantidad de especímenes para ensayos de resistencia a Flexión		
Tiempo de rotura	28 días	TOTAL
Mezcla patrón inmersión	6	6
Mezcla traquita optima	6	6
Total	12	

Tabla 2. Cantidad de especímenes ensayo de Flexión compresión. Fuente: elaboración propia.

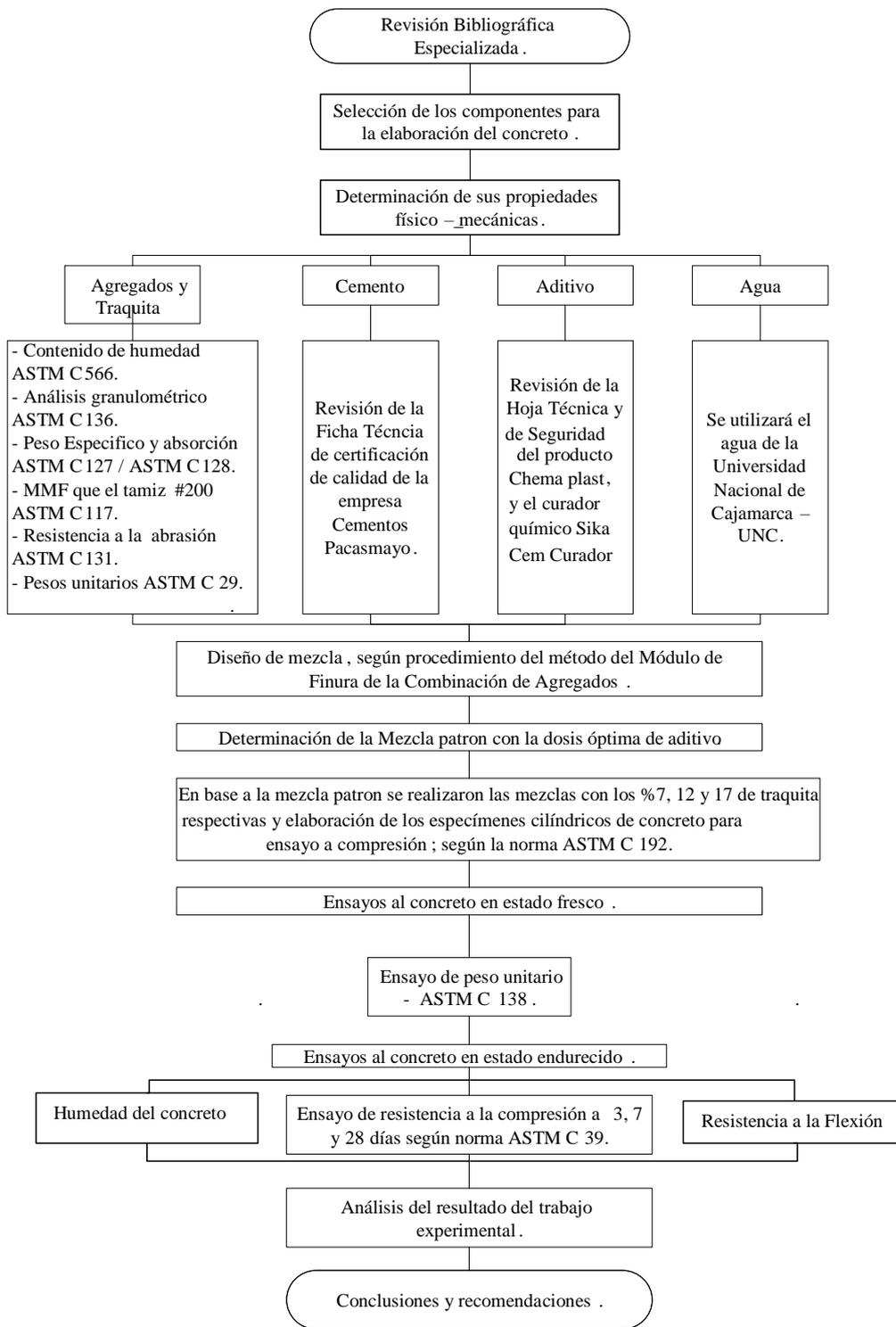


Figura 16: Secuencia del proceso de investigación del trabajo de graduación.

3.3 Materiales y Equipos

3.3.1. Materiales

Los materiales a utilizar serán aquellos que estén de acuerdo con la normatividad correspondiente.

Cemento: El cemento que se usó para la elaboración de todas las mezclas de concreto es de origen local, cemento Portland Tipo I de la Empresa Pacasmayo, elaborado con base en la norma NTP 334.009 / ASTM C150 y que cuenta con peso específico 3.12 g/cm³ (Ficha Técnica Pacasmayo (2016))

Agregados: los agregados tanto fino como grueso (arena y piedra de río respectivamente), serán procedentes de la cantera “Roca Fuerte- el chonta” cuyas características se presentarán en el capítulo IV.

Traquita. Es una roca ígnea de dureza 6 y porosa será procedente del km 7.5 de la carretera a Bambamarca, se realizará ensayos basada en la norma ASTM-C127

Agua potable: proveniente de la red pública de servicio de agua en Cajamarca. NTP339.088

Aditivo plastificante: El tipo de aditivo que se utilizó para elaborar las mezclas de concreto es un aditivo plastificante. El aditivo es fabricado por la Empresa Chema, llamado Chema Plast, que es un reductor de agua, mejora la trabajabilidad del concreto aumentando la resistencia a la penetración de humedad. Ideal para concreto caravista (de alta resistencia, sin tarrajeos, ni huecos).

Curador químico. Es un compuesto de curado que al ser pulverizado sobre el concreto fresco se adhiere a la superficie de éste (concreto), formando una película impermeable al agua y al aire, evitando la evaporación del agua de la mezcla y el secado prematuro del concreto por efectos del sol y/o viento.

3.3.2. Equipos

Los equipos utilizados son los establecidos por las Normas NTP y ASTM y que cuentan con su respectivo certificado de calibración y son los siguientes:

- a. Juego de tamices conformados por: N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3", 3 1/2" y 4".
- b. Estufa a temperatura constante de 110 ° C ± 5 °C.
- c. Balanza, con sensibilidad de 0.5 gr. y capacidad no menor de 5 Kg.

- d. Fiola de vidrio para realizar el peso específico de la arena
- e. Cesta de malla de alambre, con abertura no mayor de 3 mm.
- f. Esferas de acero
- g. Cono de abrams y barra compactadora de acero, circular, recta, de 1/2" de diámetro y 60 cm. de largo, con un extremo redondeado.
- h. Moldes de concreto circulares de 6" de diámetro y 12" de altura.
- i. Moldes de concretos prismáticos 50cm de base, 15cm de altura y 15cm de profundidad.
- j. Maquina a compresión para determinar la carga uniaxial en toneladas que resisten los especímenes circulares de concreto.
- k. Máquina de prueba de flexión para determinar la carga uniaxial en toneladas que resisten los especímenes prismáticos de concreto.
- l. Deformimetro se utiliza para visualizar las deformaciones que tiene el concreto con respecto a la carga.

3.4 Técnicas, instrumentos de recopilación y procesamiento de información.

3.4.1 Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Para recopilar la información se usaron 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 tales como: Maquina de ensayo a compresión, Balanzas, Calibradores, Tamices ASTM y 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.

- Estudio de las Características Físicas de los Agregados.

El estudio de las características físicas de los agregados es indispensable para poder realizar los diseños de mezcla del concreto. Así como también son necesarias estudiar sus propiedades físicas para poder determinar si cumplen con los límites permisibles fijados en las normas que los rigen como son las normas ASTM o NTP, referenciadas a la clasificación de agregados para el concreto.

A continuación, se describen las técnicas utilizadas para la obtención de los datos de las propiedades de los agregados. El estudio de las características físicas fue indispensable para poder realizar el diseño de mezclas del concreto. Así mismo, para verificar si cumplen con los límites permisibles fijados en las normas ASTM o NTP, referentes a la clasificación de agregados para el concreto.

- Reducción de Muestras para Ensayo

Las muestras de los agregados tuvieron 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. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.043, 2006).

- Granulometría del Agregado Fino

El agregado fino debe tener una granulometría adecuada dentro de los límites indicados en las normas ASTM C33 o NTP 400.037. La granulometría seleccionada será preferentemente uniforme y continua, con valores retenidos, con valores retenidos en las mallas N°4 a la malla N°100 de la serie de Tyler.

<i>Malla</i>	<i>Porcentaje que pasa</i>
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

Tabla 3. Límites granulométricos para el agregado fino.

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.

- Granulometría del agregado grueso

El agregado grueso estuvo graduado dentro del huso granulométrico especificado en las Normas NTP 400.037 o ASTM C 33. La granulometría seleccionada fue continua. Se optó por tomar el huso N° 56 de la A.S.T.M. El tamaño máximo del agregado grueso fue de 1" igual que el tamaño nominal, se obtuvo un módulo de finura de 7.21. (NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.037, 2002).

N° A.S.T.M	Tamaño Nominal	% Que pasa por los tamices normalizados												
		100	90	75	63	50	37,5	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	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	-

Tabla 4. Límites granulométricos para el agregado grueso.

- Módulo de Fineza del Agregado.

El módulo de fineza usualmente se determina para el agregado fino, pero el conocimiento del módulo de fineza del agregado grueso es necesario para la aplicación del método 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 en cuanto mayor es su valor menos serpa el valor lubricante y la demanda de agua por área superficial.

Pudiendo obtenerse con diferentes granulometrías el mismo módulo de fineza, este no se empleará para definir la granulometría del 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 ½", ¾", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y finalmente 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 índice de control de uniformidad de materiales.

- **Peso Específico y Absorción de los Agregados**

La norma NTP 400.022, la define como: “... 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...”

Las otras definiciones que utilizaremos son las siguientes:

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.

- **Determinación del Peso Específico y Absorción del Agregado Fino**

En las normas ASTM C128 Y NTP 400.022 se establecen los procedimientos y métodos de ensayo para determinar el peso específico; peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y el porcentaje de absorción del agregado fino.

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 agua, de tal manera que se encuentre el material saturado superficialmente seco.

a) **Procedimiento de 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)

b) Ensayo de determinación del peso específico y absorción del agregado fino

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 $\pm 2^\circ\text{C}$.

c) Formulas Empleadas

Peso específico de masa:

$$Pe = \frac{W_0}{V - V_a} \dots \dots \dots (1.1)$$

Peso específico de masa saturada SS:

$$P_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \dots \dots \dots (1.2)$$

Peso específico aparente:

$$Pea = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \dots \dots \dots (1.3)$$

Porcentaje de absorción:

$$Ab = \left(\frac{500 - W_0}{W_0} \right) * 100 \dots \dots \dots (1.4)$$

Dónde:

W₀: Peso en el aire de la muestra seca en la mufla (gr).

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

V: Volumen del frasco en cm³

3.4.2 Determinación del Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso

En las normas ASTM C128 y NTP 400.021 se establece el método de ensayo para determinar el peso específico (densidad); peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y el porcentaje de absorción después de 24 horas en agua del agregado grueso.

a) 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.

b) Procedimiento Empleado

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 el 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).

c) Fórmulas empleadas:

Peso específico de masa:

$$Pe = \frac{A}{B - C} \dots \dots \dots (2.1)$$

Peso específico de masa saturada superficialmente seca:

$$Pea = \frac{B}{B - C} \dots \dots \dots (2.2)$$

Peso específico aparente:

$$Pea = \frac{A}{A - C} \dots \dots \dots (2.3)$$

Porcentaje de absorción:

$$Ab = \left(\frac{B - A}{A} \right) * 100 \dots \dots \dots (2.4)$$

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.

✓ **Peso Unitario Volumétrico Compactado y No Compactado de los Agregados**

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 chancados de textura subangular tienen, generalmente, un peso unitario más bajo que las partículas de perfil redondeados.

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.

✓ **Determinación de Material que pasa malla N°200**

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

a) **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.

✓ **Procedimiento de Diseño de Mezcla**

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 testigos de concreto se consideró tener los siguientes requerimientos en el estado endurecido y no endurecido:

a. Trabajabilidad

Para la elaboración de mezcla de los concretos de $f'c=420\text{Kg/cm}^2$, se consideró que el concreto no endurecido, presente una trabajabilidad óptima, evitando tener un perfil sobre gravoso o sobre arenoso.

b. Consistencia

Para el diseño de mezcla de los concretos de $f'c=420\text{Kg/cm}^2$, se consideró que el concreto no endurecido, cumpla con una consistencia plástica (asentamiento de 3" – 4").

c. Resistencia

Para el diseño de mezclas y ajuste de proporciones de los concretos a elaborar, se consideró un $f'c=420\text{Kg/cm}^2$, que el $f'c$ de diseño en un concreto de alta resistencia. 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 se obtuvo mediante las consideraciones para este ensayo de resistencia a compresión que se describen en La Norma ASTM C 39.

Procedimiento realizado:

- 1. Tolerancia permisible de tiempo de ensayo:** Se realizó el ensayo a las edades indicadas de 7, 14y 21 días.

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%

Tabla 5. Tolerancia permisible de tiempo de ensayo según la edad de los especímenes. (Adoptada de la Norma ASTM C 39).

- 2. Dimensiones los especímenes:** Se midió el diámetro con el calibrador vernier, 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. 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 la figura 17, 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.

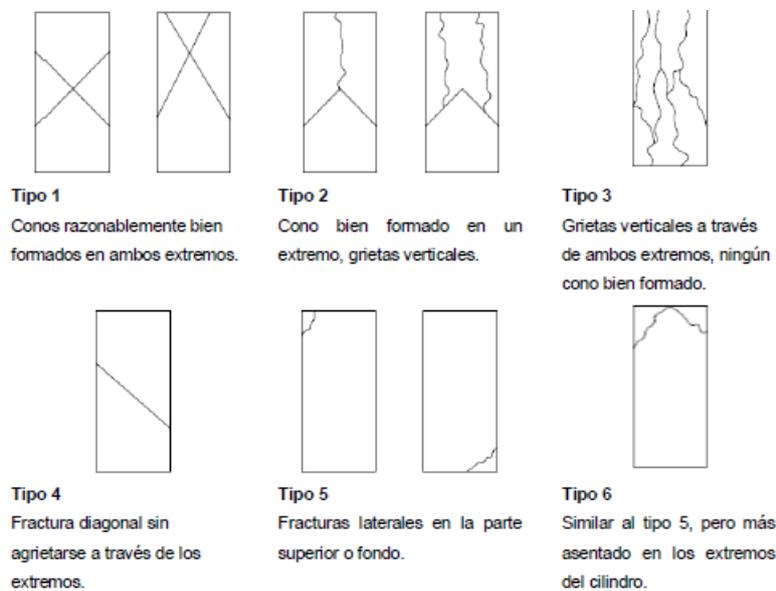


Figura 17 . Patrones típicos de fractura, Adoptado de la Norma ASTM C 39.

3.4.3 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 y el Minitab 17, con los que se obtuvo resultados de estos métodos y gráficas representativas.

✓ Análisis estadístico de los resultados.

Los resultados de los ensayos realizados están sujetos a variaciones, que pueden dar idea de la uniformidad de estos resultados y el cuidado en la realización de los ensayos. Asimismo, en base a 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 datos obtenidos de las siguientes variables de evaluación: (a) Porcentaje de humedad de los especímenes de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días. (b) Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días y (c) Resistencia a flexión en especímenes prismáticos de concreto a la edad de 28 días.

✓ Análisis estadístico de varianza 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 esta 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 estadístico 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 la tabla de análisis de varianza se encuentra significación estadística en la fuente de variación respectiva. Para nuestro caso se usó la PRM de Tukey (al nivel de 95% de confianza) 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 del ANOVA y de las pruebas de rango múltiple de Tukey se realizaron utilizando el programa estadístico *Minitab versión 17.0* que sirve para realizar análisis estadísticos y gráficos de estos de datos.

CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En este capítulo se presenta el análisis, discusión e interpretación de los resultados obtenidos después de haber realizados los ensayos pertinentes.

4.1 Resultados de las propiedades físicas de los agregados.

4.1.1 Características físicas del agregado fino.

A continuación, se presentan en la tabla N°6 el resumen de las propiedades físicas del agregado fino de la cantera roca fuerte, los valores obtenidos se encuentran dentro de los estándares de las normas ASTM y NTP. Las propiedades detalladas se encuentran en el anexo N°1.

CARACTERISTICA	AGREGADO FINO
P. E APARENTE	2.67 gr/cm ³
P. E MASA	2.56 gr/cm ³
P.E.S.S.S	2.61 gr/cm ³
PESO UNITARIO SUELTO	1452.92 Kg/m ³
PESO UNITARIO COMPACTADO	1608.34 Kg/m ³
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	3.00 %
ABSORCION (%)	1.51 %
MODULO DE FINURA	3.47
PORCENTAJE PASA MALLA N° 200	1.34 %

Tabla 6 .Resumen de las propiedades físicas del agregado fino-fuente: elaboración propia.

4.1.2 Características físicas del agregado grueso.

A continuación, se presentan en la tabla N°7 el resumen de las propiedades físicas del agregado grueso cantera roca fuerte, los valores obtenidos se encuentran dentro de los estándares de las normas ASTM y NTP. Las propiedades detalladas se encuentran en el anexo N°1.

CARACTERISTICA	AGREGADO GRUESO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4"
P. E MASA	2.42 gr/cm ³
P. E APARENTE	2.51 gr/cm ³
P. E S.S.S	2.46 gr/cm ³
PESO UNITARIO SUELTO	1397.78 Kg/m ³
PESO UNITARIO COMPACTADO	1514.44 Kg/m ³
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.5 %
ABSORCION (%)	1.37 %
MODULO DE FINURA	7.12
ABRACION (%)	27.5 %
PORCENTAJE PASA MALLA N° 200	1.34 %

Tabla 7. Resumen de las propiedades físicas del agregado grueso-fuente: elaboración propia.

4.1.3 Características físicas de la traquita.

A continuación, se presentan en la tabla N°8 el resumen de las propiedades físicas de la traquita obtenida en el km 7.5 de la carretera a Bambamarca, los valores obtenidos se encuentran dentro de los estándares de las normas ASTM y NTP. Las propiedades detalladas se encuentran en el anexo N°1.

CARACTERISTICA	TRAQUITA
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4"
P. E MASA	1.71 gr/cm3
P. E APARENTE	2.40 gr/cm3
P. E S.S.S	2.0 gr/cm3
ABSORCION (%)	16.64 %

Tabla 8. Resumen de las propiedades físicas de la traquita-fuente: elaboración propia.

4.2 Diseño de mezcla.

Para los diseños de mezcla se usó el método de Módulo de Finura de la Combinación de Agregados, se realizaron 4 diseños de mezcla el primero fue el diseño patrón y los 3 restantes con traquita a porcentajes de 7,12 y 17. La resistencia requerida: Un $f'c$ de 420 Kg/cm², ya que este $f'c$ es más comúnmente utilizado en elementos estructurales departamentos, centros comerciales, hoteles y edificios de gran altura.

Propiedades del Cemento: Marca y Tipo: CEMENTOS PACASMAYO S.A.A. - Cemento portland Tipo I, cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150., Peso específico: 3.1 gr/cm³.

Propiedades del Aditivo Plastificante: CHEMAPLAST, se diseña mezclas hasta con 10% menor en agua, Densidad (Kg/gal): 4.10 - 4.30.

Primero en nuestro diseño escogeremos la trabajabilidad y el aire atrapado con el cual trabajaremos de la tabla N°9 que se muestra a continuación.

ASENTAMIENTO	AGUA EN kg/m ³ DE CONCRETO PARA LOS TAMAÑOS NOMINAL MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO y CONSISTENCIA							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO								
1"-2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3"-4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6"-7"	243	228	216	202	190	178	160	--
Cont.aire atrap %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
CONCRETO CON AIRE INCORPORADO								
1" - 2"	181	175	168	160	150	112	122	107
3" - 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" - 7"	216	205	197	184	174	166	154	--
Cont.aire total %	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Tabla 9. Resumen de las propiedades físicas de la traquita-fuente.

La consistencia requerida: cumplió con una consistencia plástica (Slump de 3"-4").

Para realizar el método de Módulo de Finura de la Combinación de Agregados se aplica la ecuación es posible determinar el valor del módulo de fineza de la combinación de agregados más conveniente para condiciones dadas de la mezcla.

$$m = r_f \cdot m_f + r_g \cdot m_g \dots \dots \dots (\alpha)$$

En el cual:

m: Módulo de fineza de la combinación de agregados.

m_f: Módulo de fineza del agregado fino.

m_g: Módulo de fineza del agregado grueso.

r_f: Porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total de agregado.

r_g: Porcentaje de agregado grueso en relación al volumen absoluto total de agregado.

Del análisis de la ecuación se puede deducir que el módulo de fineza de una combinación de agregados fino y grueso es igual a la suma de los productos de los módulos de fineza de cada ingrediente al volumen absoluto de todos los ingredientes. Aplicando la relación (**α**) es posible obtener los diversos valores del módulo de fineza de la combinación de agregados que dan las mejores condiciones de trabajabilidad para diversos contenidos de cemento por metro cúbico de concreto. Dichos valores están indicados en la Tabla 10.

TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO	MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS, EL CUAL DE LAS MEJORES CONDICIONES DE TRABAJABILIDAD PARA LOS CONTENIDOS DE CEMENTO EN SACO POR METRO CUBICO INDICADOS									
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19	4.26	4.34	4.41	4.49	4.56	4.64
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69	4.76	4.84	4.91	4.99	5.06	5.14
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19	5.26	5.34	5.41	5.49	5.56	5.64
1"	5.26	5.34	5.41	5.49	5.56	5.64	5.71	5.79	5.86	5.94
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79	5.86	5.94	6.01	6.09	6.16	6.24
2"	5.86	5.94	6.01	6.09	6.16	6.24	6.31	6.39	6.46	6.54
3"	6.16	6.24	6.31	6.39	6.46	6.54	6.61	6.69	6.76	6.84

Tabla 10. Módulo de finura de combinación de agregados.

Las cantidades de materiales por metro cúbico de concreto, se determinaron por el Método del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados. Los cálculos y resultados del diseño de mezclas se presentan en el ANEXO II.

✓ Diseño 1: Patrón

Para este diseño se realizaron 18 especímenes de concreto para tratamiento con los 02 tipos de curado comunes inmersión y con un curador químico Sika Cem Curador, la dosificación en peso por metro cúbico es la siguiente:

Cemento.....428.64 Kg/m³
Aditivo Chema Plast.....2.55 Lts/m³
Agua efectiva:..... 179.63 Lts/m³
Agregado Fino Húmedo:.....787.61 Kg/m³
Agregado Grueso Húmedo:....861.93 Kg/m³

✓ Diseño 2: Traquita 7%

Para este diseño se realizaron 18 especímenes de concreto para tratamiento de curado interno con la saturación 3 días en aguas de la traquita, la dosificación en peso por metro cúbico es la siguiente:

Cemento:.....428.64 Kg/m³
Aditivo Chema Plast.....2.55 Lts/m³
Agua efectiva:..... 174.97 Lts/m³
Agregado Fino Húmedo:.....787.61 Kg/m³
Agregado Grueso Húmedo:....806.38 Kg/m³
Traquita:.....42.25 Kg/m³

✓ Diseño 3: Traquita 12%

Para este diseño se realizaron 18 especímenes de concreto para tratamiento de curado interno con la saturación 3 días en aguas de la traquita, la dosificación en peso por metro cúbico es la siguiente:

Cemento.....428.64 Kg/m³
Aditivo Chema Plast.....2.55 Lts/m³
Agua efectiva:..... 174.97 Lts/m³
Agregado Fino Húmedo:.....787.61 Kg/m³
Agregado Grueso Húmedo:....763.03 Kg/m³
Traquita.....72.44 Kg/m³

✓ Diseño 4: Traquita 17%

Para este diseño se realizaron 18 especímenes de concreto para tratamiento de curado interno con la saturación 3 días en aguas de la traquita, la dosificación en peso por metro cúbico es la siguiente:

Cemento.....428.64 Kg/m³
Aditivo Chema Plast.....2.55 Lts/m³
Agua efectiva:..... 174.97 Lts/m³
Agregado Fino Húmedo:.....787.61 Kg/m³
Agregado Grueso Húmedo:....719.67 Kg/m³
Traquita.....102.62 Kg/m³

4.3 Peso Unitario Del Concreto

Se calculó el peso unitario de los 72 especímenes cilíndricos que se ensayaron a la edad de 7, 14 y 28 días que se elaboraron con cada tratamiento, para lo cual se determinó primeramente la medida de diámetro, la altura y el peso de cada espécimen. Como se describe detalladamente en el ANEXO III, a continuación, se muestra la tabla N°11 resumen del peso unitario del concreto fresco para diferentes porcentajes de traquita.

% TRAQUITA	PESO UNITARIO(kg/m ³)	PESO UNITARIO CORREGIDO
0	2375.89	2376.10
7	2371.44	2370.55
12	2361.37	2362.38
17	2351.08	2350.71

Tabla 11. Peso unitario del concreto a diferentes % de traquita.

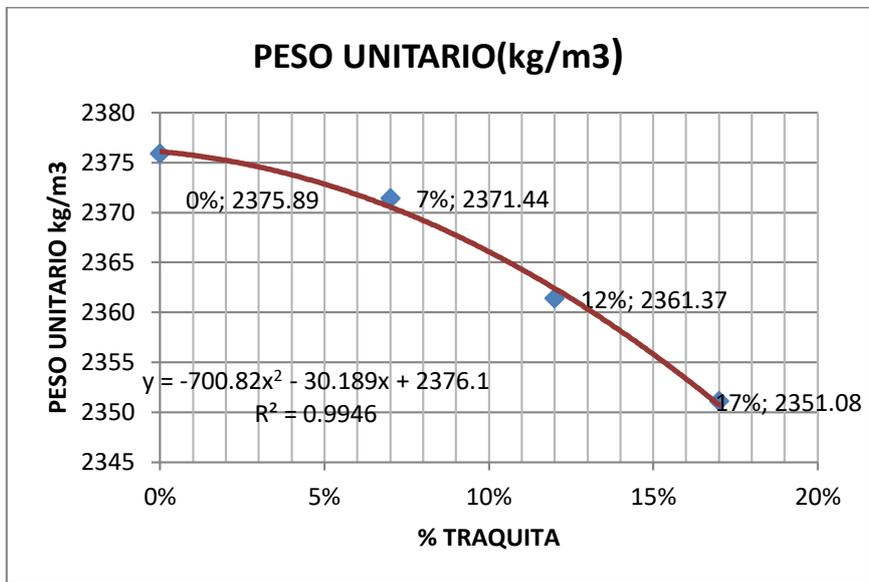


Figura 18. Grafica peso unitario vs % traquita.

En la Figura 18 podemos observar los concretos elaborados con diferentes % de traquita presentan promedios de pesos unitarios.

El concreto elaborado sin traquita presentó un Peso unitario promedio de 2375.89 Kg/m³ teniendo el mayor valor de peso unitario, el concreto elaborado con un 7% de traquita presentó un Peso unitario promedio de 2371.44 Kg/m³, el concreto elaborado con un 12% de traquita presentó un Peso unitario promedio de 2361.37 Kg/m³ y el concreto elaborado con un 17% de traquita presentó un Peso unitario promedio de 2351.37 Kg/m³ teniendo el menor valor de peso unitario.

Los resultados de pesos unitarios del concreto con cada porcentaje de traquita, se relacionan con la consistencia de estos en estado no endurecido ya que mientras se va aumentando el porcentaje de traquita el peso unitario va disminuyendo esto se debe al peso específico de la traquita que es menor que del agregado grueso y la porosidad que presenta dicha roca.

4.4 Humedad del concreto.

Se calculó la humedad del concreto de los 15 especímenes cilíndricos que se ensayaron a la edad de 7, 14 y 28 días que se elaboraron con cada tratamiento, con el fin de analizar la diferencia de retención de humedad en el concreto de nuestro curado propuesto con los otros curados de estudio; sobre todo al compararlo con el curado sumergido en agua, o tratamiento patrón como se describe detalladamente en el ANEXO IV.

A continuación, se muestra la tabla N°12 resumen de la humedad del concreto endurecido para las edades de 7, 14,28 días y diferentes porcentajes de traquita.

TIEMPO (DIAS)	TRAQUITA 7%	TRAQUITA 12%	TRAQUITA 17%
7	4.30	6.07	7.03
14	3.85	5.03	6.01
28	3.05	4.02	5.03

Tabla 12. Humedad del concreto a diferentes % de traquita y tiempos.

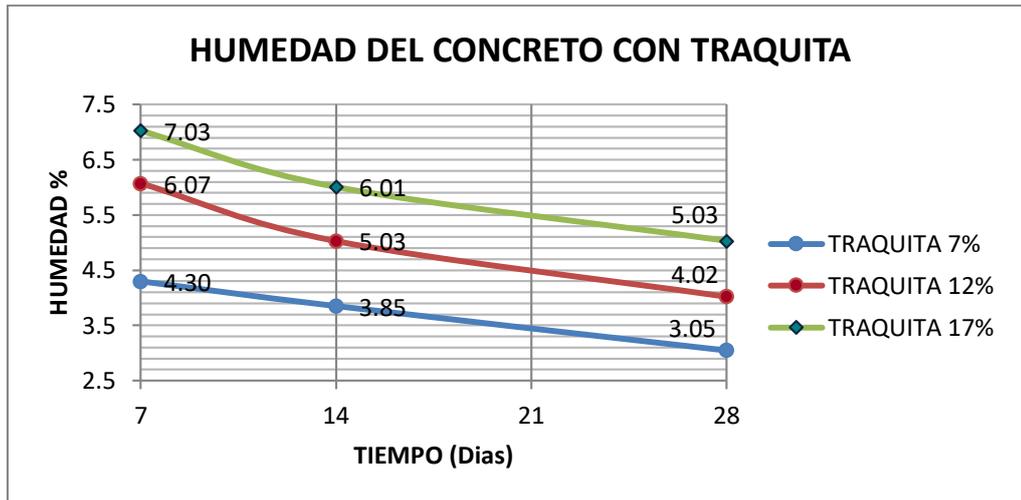


Figura 19. Gráfica humedad de concreto con % traquita vs Tiempo.

En el Figura 19 se aprecia que el concreto que tiene un 17 % de traquita tiene la mayor humedad en el concreto endurecido y concreto que tiene un 7 % de traquita presenta la menor humedad en el concreto endurecido a las edades de 7, 14 y 28 días.

La siguiente tabla N°13 resumen de la humedad del concreto endurecido para diferentes procesos de curado como inmersión, curador químico y el curado interno de 17% de traquita que en la gráfica anterior mostro tener más humedad a las edades de 7, 14,28 días.

TIEMPO (DIAS)	INMERSION (%)	SIKA SEM CURADOR (%)	TRAQUITA ÓPTIMA (%)
7	5.54	4.05	7.03
14	6.36	2.61	6.01
28	7.27	1.87	5.03

Tabla 13. Humedad del concreto a diferentes % proceso de curado y tiempos.

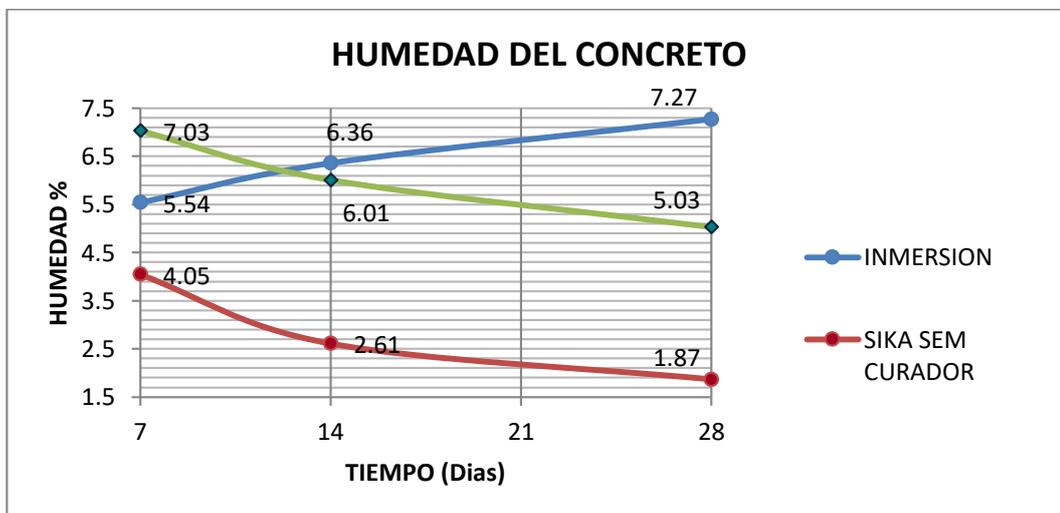


Figura 20. Gráfica humedad de concreto a diferentes procesos de curado vs Tiempo.

En la Figura 20 se aprecia que el concreto curado en inmersión tiene la mayor humedad en el concreto endurecido y el concreto curado con el curador químico presenta la menor humedad en el concreto endurecido a las edades de 7, 14 y 28 días.

4.5 Resistencia a compresión.

Se calculó la resistencia a compresión del concreto de los 72 especímenes cilíndricos que se ensayaron a la edad de 7, 14 y 28 días que se elaboraron con cada tratamiento, con el fin de analizar la diferencia de la resistencia máxima del ensayo a compresión en el concreto de nuestro curado propuesto con los otros curados de estudio; sobre todo al compararlo con el curado sumergido en agua, o tratamiento patrón. Como se describe detalladamente en el ANEXO V, a continuación se muestra la tabla N°14 resumen de la resistencia máxima del ensayo a compresión del concreto endurecido para las edades de 7, 14, 28 días y diferentes porcentajes de traquita.

TIEMPO (DIAS)	TRAQUITA 7% (kg/cm ²)	TRAQUITA 12% (kg/cm ²)	TRAQUITA 17% (kg/cm ²)
7	306.20	354.87	329.82
14	431.61	375.00	364.83
28	470.70	407.30	369.98

Tabla 14. Resistencia máxima del ensayo a compresión a diferentes % de traquita y tiempos.

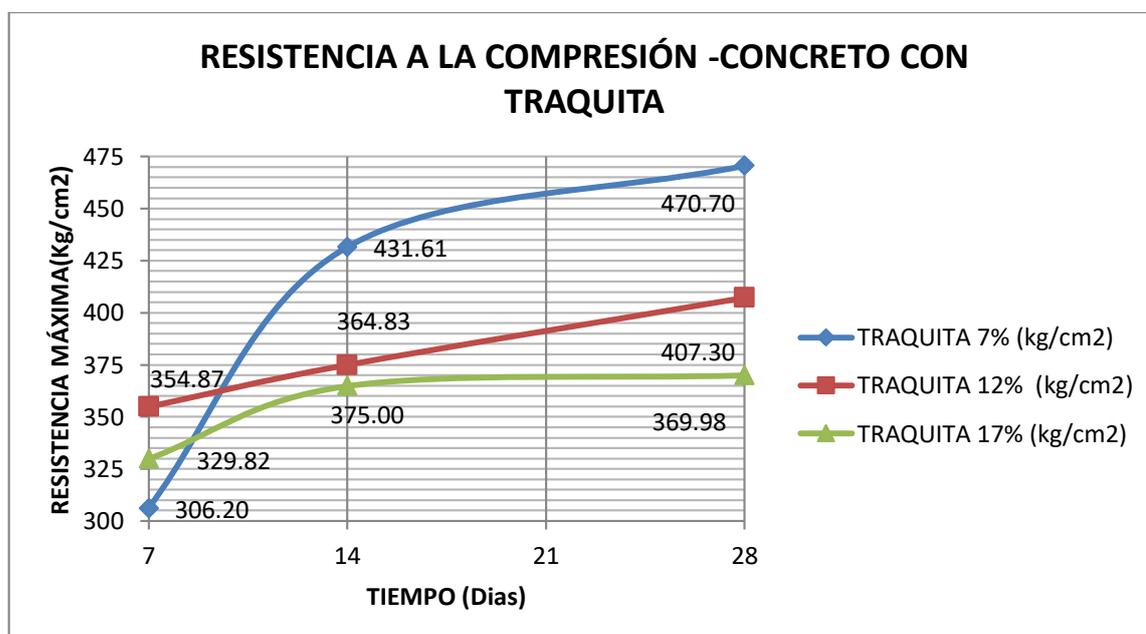


Figura 21. Gráfica resistencia máxima del ensayo a compresión del concreto con % traquita vs Tiempo.

En el Figura 21 se aprecia que el concreto que tiene un 7 % de traquita tiene la mayor resistencia a compresión en el concreto y concreto que tiene un 17 % de traquita presenta la menor humedad en el concreto endurecido a las edades de 7, 14 y 28 días.

La siguiente tabla N°15 resumen de la resistencia máxima del ensayo a compresión del concreto para diferentes procesos de curado como inmersión, curador químico y el curado interno de 7% de traquita que en la gráfica anterior mostro tener mayor resistencia a compresión a las edades de 7, 14 y 28 días.

TIEMPO (DIAS)	INMERSIÓN (kg/cm ²)	SIKA SEM CURADOR (kg/cm ²)	TRAQUITA OPTIMA(kg/cm ²)
7	386.71	289.73	306.20
14	435.63	323.47	431.61
28	466.89	387.32	470.70

Tabla 15. Resistencia máxima del ensayo a compresión a diferentes procesos de curado y tiempos.

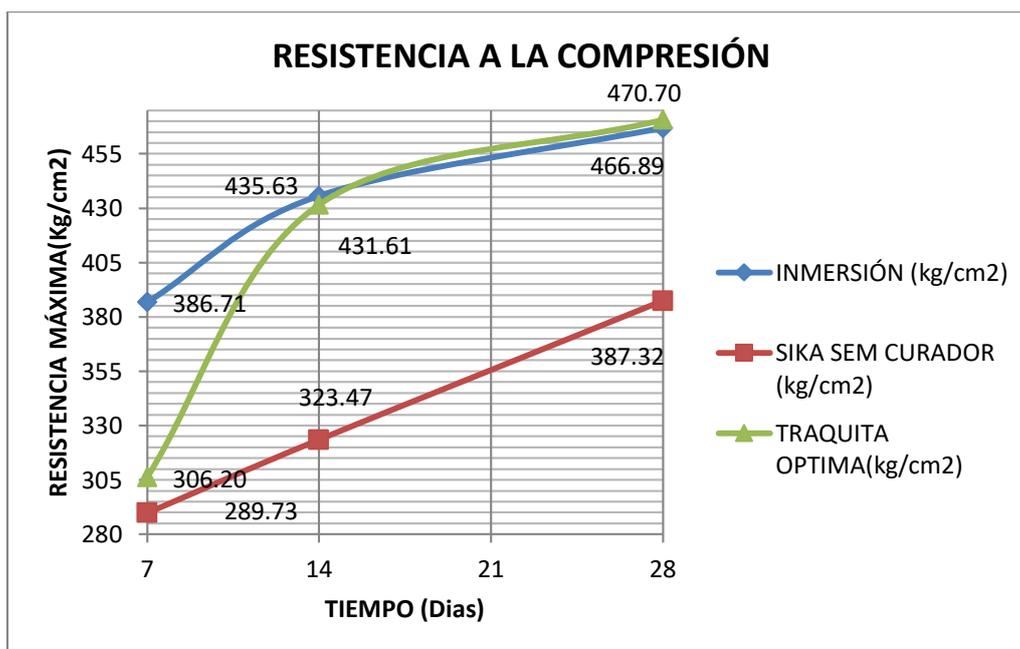


Figura 22. Gráfica resistencia máxima del ensayo a compresión del concreto a diferentes procesos de curado vs Tiempo.

En el Figura 22 se aprecia que el concreto curado en inmersión alcanza una alta resistencia inicial a los 7 días, luego va aumentando hasta llegar a la resistencia

indicada, el concreto con curado interno con 7 % de traquita alcanza una resistencia inicial mucho menor que el curado por inmersión a los 7 días, luego va aumentando la resistencia hasta ser ligeramente mayor que el curado por inmersión a la edad de 28 días, el concreto curado con el curador químico presenta la menor resistencia a las edades de 7, 14 y 28 días que los otros proceso de curado.

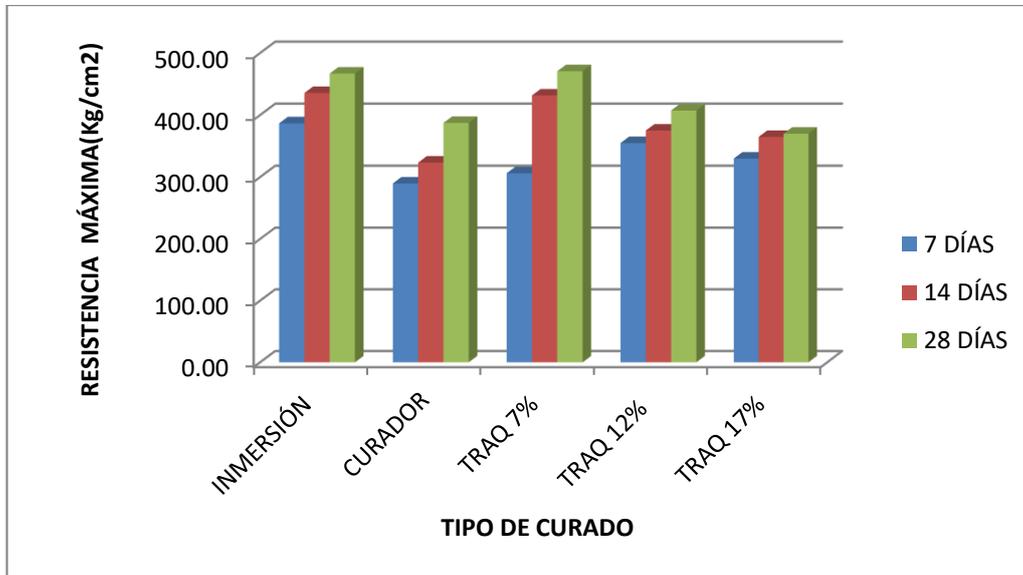


Figura 23 Grafica resumen resistencia máxima a compresión del concreto a diferentes procesos de curado vs Tiempo.

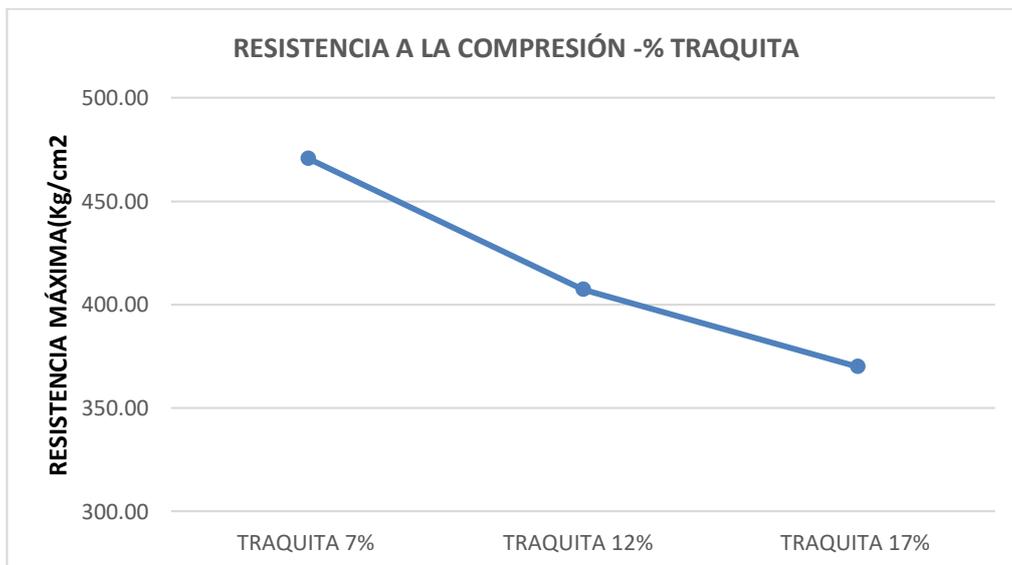


Figura 24. Grafica vs % de traquita a los 28 días.

La Determinación del Esfuerzo – Deformación en los especímenes ensayados a compresión a la edad de 28 días, se determinaron con un Deformimetro ubicado en la base móvil de la

máquina de compresión, 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 siguiente expresión para la determinación del Módulo de Elasticidad del concreto:

$$E = 15000 \times \sqrt{F''c}$$

Los resultados obtenidos de módulo de elasticidad y análisis de estos se presentan en el ANEXO VI. A continuación, se muestra la Figura N° donde se muestra el módulo de elasticidad para los diferentes procesos de curados.

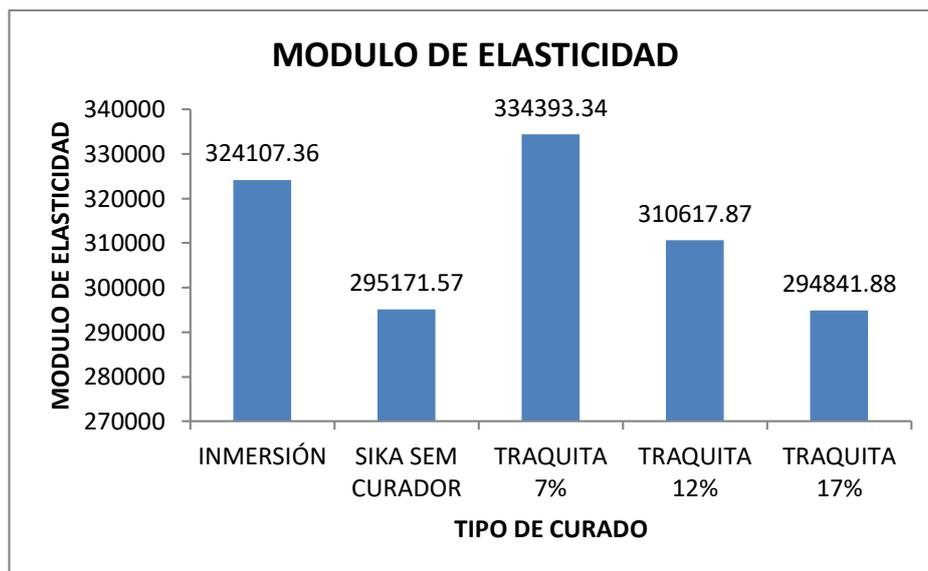


Figura 25. Módulo de elasticidad resistencia a la compresión.

En el siguiente Figura 24 se ve que el curado interno con un 7% de traquita es mayor seguido del concreto con un curado por inmersión, el concreto que tiene un proceso de curado con curador químico tiene el menor módulo de elasticidad.

4.6 Resistencia a flexión.

Se calculó la resistencia a compresión del concreto de los 12 especímenes prismáticos de 50 x 15 x 15 cm que se ensayaron a la edad de 28 días que se les dio un proceso de curado por inmersión y del curado interno. Como se describe detalladamente en el ANEXO VII, a continuación, se muestra la Figura N° 25 donde se muestra de la resistencia máxima del ensayo a Flexión del concreto.

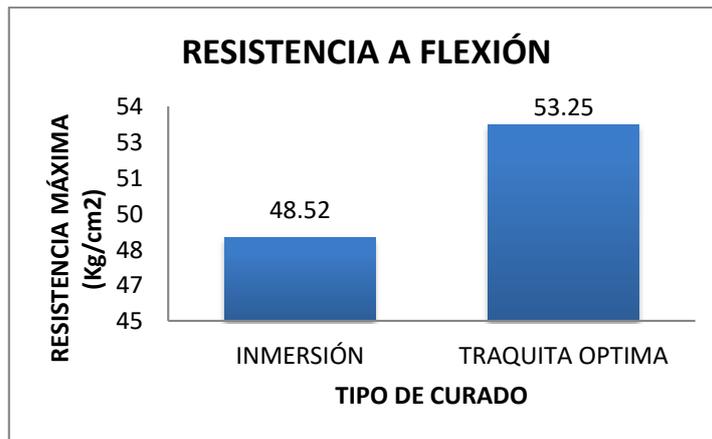


Figura 26. Resistencia a Flexión.

4.7 Análisis estadístico e interpretación de los resultados

4.7.1 Resultados estadísticos humedad del concreto.

a. Análisis estadístico de la humedad del concreto endurecido (7 días).

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de la variable de porcentaje de humedad del ANEXO IV, 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 Figuras:

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor P
CURADO	4	18.5299	4.63248	394.65	0
Error	10	0.1174	0.01174		
Total	14	18.6473			

Tabla 16. Análisis de la varianza de la humedad del concreto endurecido a 7 días.

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 17. Medias de la humedad del concreto endurecido a 7 días.

CURADO	N	Media	Desv.Est.	Índices de confianza (IC) de 95%
INMERSIÓN	3	5.5386	0.06	(5.3992, 5.6779)
SIKA SEM CURADOR	3	4.0481	0.0327	(3.9087, 4.1875)
TRAQUITA 12%	3	6.0684	0.1555	(5.9291, 6.2078)
TRAQUITA 17%	3	7.0322	0.0634	(6.8928, 7.1715)
TRAQUITA 7%	3	4.2959	0.1607	(4.1565, 4.4352)
Desv.Est. agrupada = 0.108343				

Tabla 18. Agrupación de información de la humedad del concreto endurecido a 7D

Según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

CURADO	N	Media	Agrupación (*)
TRAQUITA 17%	3	7.0322	A
TRAQUITA 12%	3	6.0684	B
INMERSIÓN	3	5.5386	C
TRAQUITA 7%	3	4.2959	D
SIKA SEM CURADOR	3	4.0481	D

(*)Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

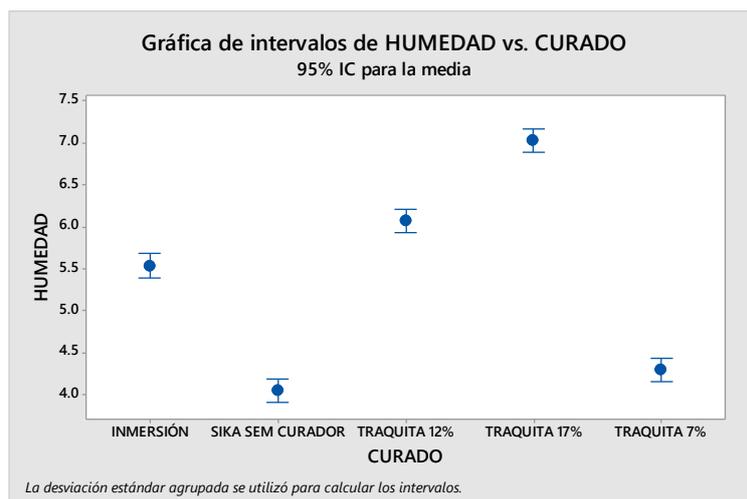


Figura 27. Gráficas de intervalos para agrupaciones del % de humedad por tratamiento a los 7 días de edad.

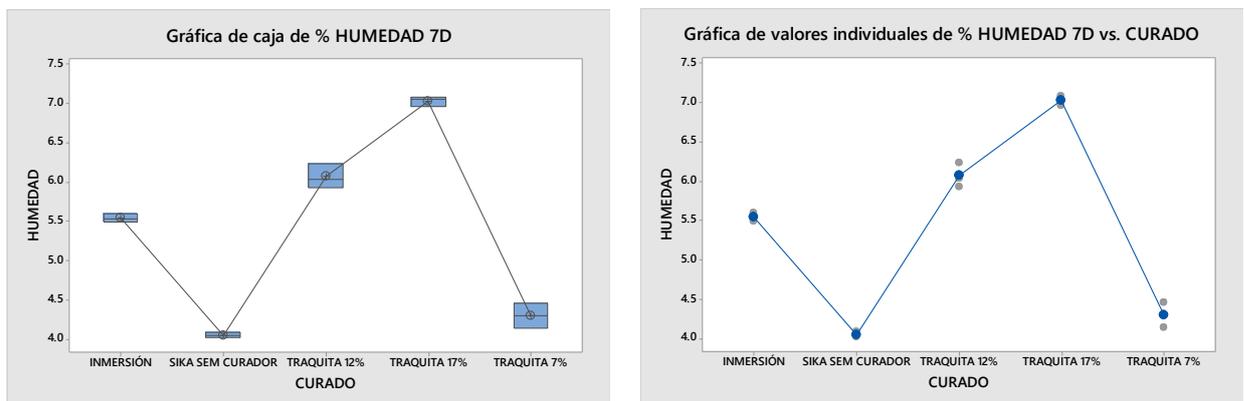


Figura 28. Gráficas de valores individuales y cajas de % de humedad por tratamiento a los 7 días.

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 importante diferencia estadística entre las medias de los porcentajes de humedad

de los diferentes procesos de curado. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los datos de porcentaje de humedad de los 5 procesos de curado son estadísticamente diferentes entre sí.

Según la Tabla N° 18, se observa que el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a la retención de humedad es el Curado interno mediante la saturación del 17 % de traquita (A); le sigue el Curado interno mediante la saturación del 12 % de traquita(B); luego le sigue el Curado sumergido en agua (C), luego el Curado interno mediante la saturación del 7 % de traquita (D) y el curado de rociado con Sika Sem Curador (D).

b. Análisis estadístico de la humedad del concreto endurecido (14 días).

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de la variable de porcentaje de humedad del ANEXO IV, 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 Figuras:

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
CURADO	4	28.8896	7.2224	919.26	0
Error	10	0.0786	0.00786		
Total	14	28.9682			

Tabla 19: Análisis de la varianza de la humedad del concreto endurecido a 14 días.

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 20. Medias de la humedad del concreto endurecido a 14 días.

CURADO	N	Media	Desv.Est.	Índices de confianza (IC) de 95%
INMERSIÓN	3	6.356	0.0269	(6.2420, 6.4700)
SIKA SEM CURADOR	3	2.61	0.0562	(2.4960, 2.7240)
TRAQUITA 12%	3	5.0275	0.0517	(4.9134, 5.1415)
TRAQUITA 17%	3	6.0089	0.0754	(5.8948, 6.1229)
TRAQUITA 7%	3	3.8492	0.1645	(3.7352, 3.9632)
Desv.Est. agrupada = 0.0886385				

Tabla 21. Agrupación de información de la humedad del concreto endurecido a 14 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

CURADO	N	Media	Agrupación (*)
INMERSIÓN	3	6.356	A
TRAQUITA 17%	3	6.0089	B
TRAQUITA 12%	3	5.0275	C
TRAQUITA 7%	3	3.8492	D
SIKA SEM CURADOR	3	2.61	E

(*)Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

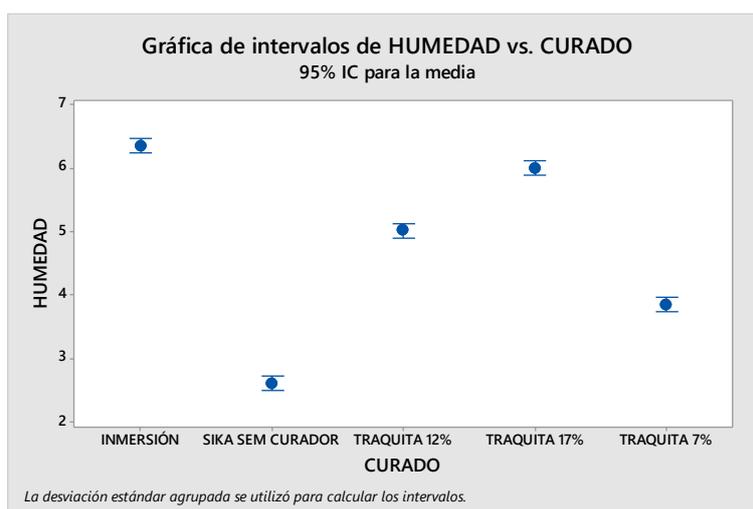


Figura 29. Gráficas de intervalos para agrupaciones del % de humedad por tratamiento a los 14 días de edad.

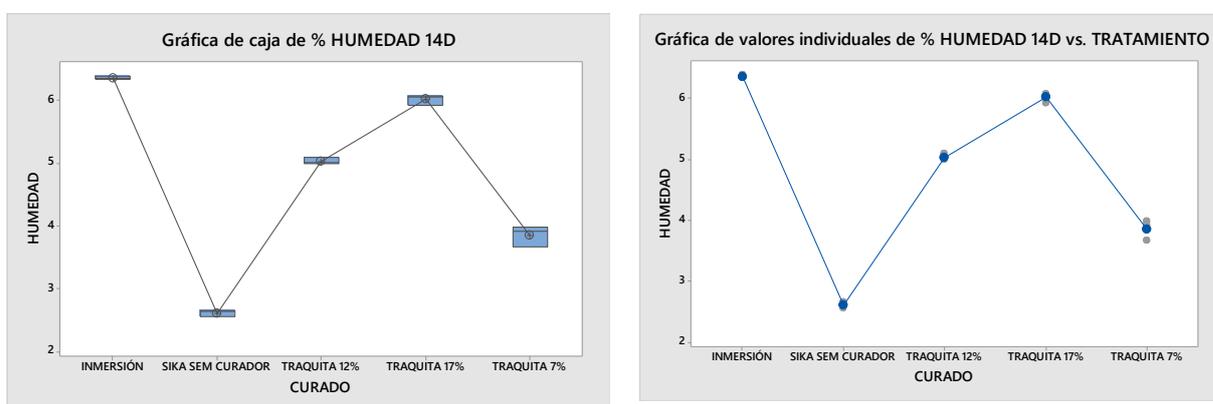


Figura 30: Gráficas de valores individuales y cajas de % de humedad por tratamiento a los 14 días.

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 importante diferencia estadística entre las medias de los porcentajes de humedad

de los diferentes procesos de curado. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los datos de porcentaje de humedad de los 5 procesos de curado son estadísticamente diferentes entre sí.

Según la Tabla N° 21, se observa que el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a la retención de humedad es el Curado sumergido en agua (A); le sigue Curado interno mediante la saturación del 17 % de traquita (B); luego le sigue el Curado interno mediante la saturación del 12 % de traquita (C); luego el Curado interno mediante la saturación del 7 % de traquita (D) y el curado de rociado con Sika Sem Curador (E).

c. Análisis estadístico de la humedad del concreto endurecido (28 días).

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de la variable de porcentaje de humedad del ANEXO IV, 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 Figuras:

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
CURADO	4	50.6895	12.6724	1165	0
Error	10	0.1088	0.0109		
Total	14	50.7983			

Tabla 22. Análisis de la varianza de la humedad del concreto endurecido a 28 días.

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 23. Medias de la humedad del concreto endurecido a 28 días.

CURADO	N	Media	Desv.Est.	Índices de confianza (IC) de 95%
INMERSIÓN	3	7.268	0.223	(7.133, 7.402)
SIKA SEM CURADOR	3	1.8656	0.0488	(1.7314, 1.9998)
TRAQUITA 12%	3	4.0236	0.0305	(3.8894, 4.1577)
TRAQUITA 17%	3	5.0286	0.037	(4.8944, 5.1628)
TRAQUITA 7%	3	3.04671	0.00919	(2.91254, 3.18088)
Desv.Est. agrupada = 0.104296				

Tabla 24. Agrupación de información de la humedad del concreto endurecido a 28 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

CURADO	N	Media	Agrupación (*)
INMERSIÓN	3	7.268	A
TRAQUITA 17%	3	5.0286	B
TRAQUITA 12%	3	4.0236	C
TRAQUITA 7%	3	3.04671	D
SIKA SEM CURADOR	3	1.8656	E

(*)Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

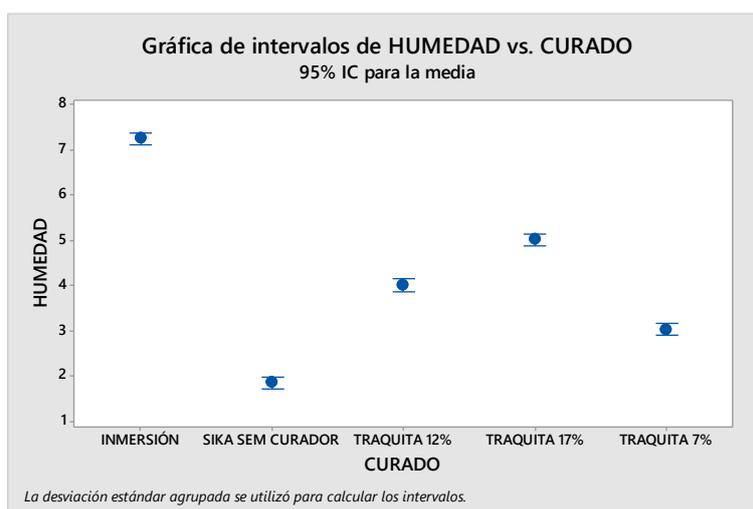


Figura 31. Gráficas de intervalos para agrupaciones del % de humedad por tratamiento a los 28 días de edad.

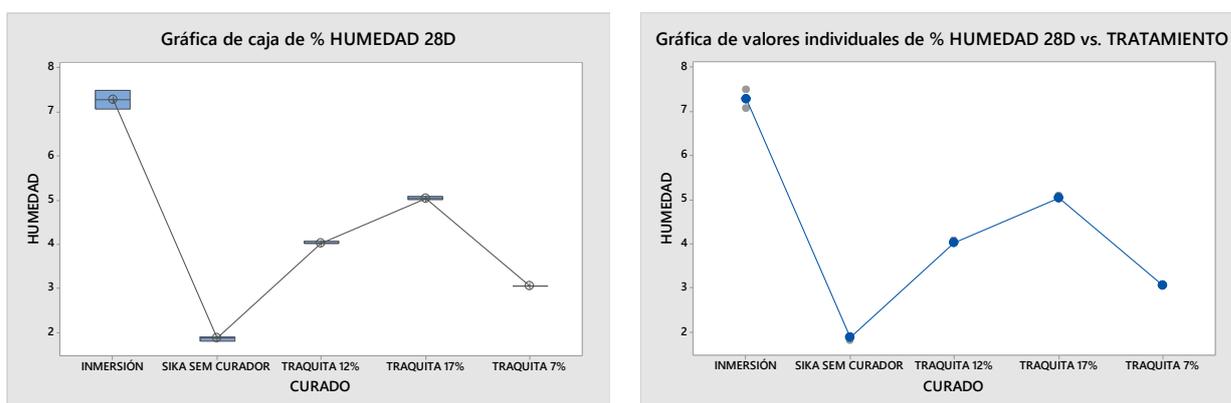


Figura 32. Gráficas de valores individuales y cajas de % de humedad por tratamiento a los 28 días.

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 importante diferencia estadística entre las medias de los porcentajes de humedad de los diferentes procesos de curado. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de

Tukey los datos de porcentaje de humedad de los 5 procesos de curado son estadísticamente diferentes entre sí.

Según la Tabla N° 24, se observa que el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a la retención de humedad es el Curado sumergido en agua (A); le sigue Curado interno mediante la saturación del 17 % de traquita (B); luego le sigue el Curado interno mediante la saturación del 12 % de traquita (C); luego el Curado interno mediante la saturación del 7 % de traquita (D) y el curado de rociado con Sika Sem Curador (E).

4.7.2 Resultados estadísticos de la resistencia a la compresión.

a) Análisis estadístico de la resistencia a compresión (7 días).

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de la variable de porcentaje de humedad del ANEXO IV, 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 Figuras:

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor P
CURADO	4	21501	5375.2	31.15	0
Error	19	3279	172.6		
Total	23	24779			

Tabla 25. Análisis de la varianza de la resistencia a compresión del concreto a 7 días.

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 26. Medias de la resistencia a compresión del concreto a 7 días.

CURADO	N	Media	Desv.Est.	Índices de confianza (IC) de 95%
INMERSIÓN	3	386.71	6.3	(370.83, 402.58)
SIKA SEM CURADOR	3	289.73	5.46	(273.85, 305.60)
TRAQUITA 12%	6	354.87	20.61	(343.65, 366.10)
TRAQUITA 17%	6	329.82	10.9	(318.60, 341.05)
TRAQUITA 7%	6	306.2	9.19	(294.97, 317.42)
Desv.Est. agrupada = 13.1361				

Tabla 27: Agrupación de información de la resistencia a compresión del concreto e a 7 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

CURADO	N	Media	Agrupación
INMERSIÓN	3	386.71	A
TRAQUITA 12%	6	354.87	B
TRAQUITA 17%	6	329.82	C
TRAQUITA 7%	6	306.2	D
SIKA SEM CURADOR	3	289.73	D

(*) Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

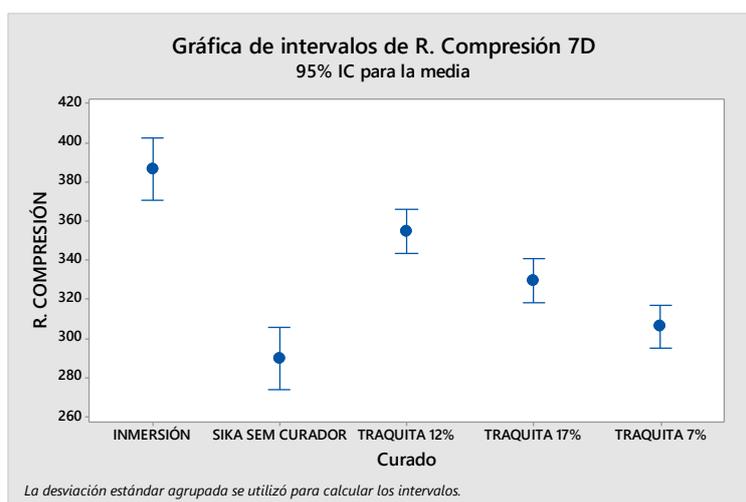


Figura 33: Gráficas de intervalos para agrupaciones de la resistencia a compresión a los 7 días de edad.

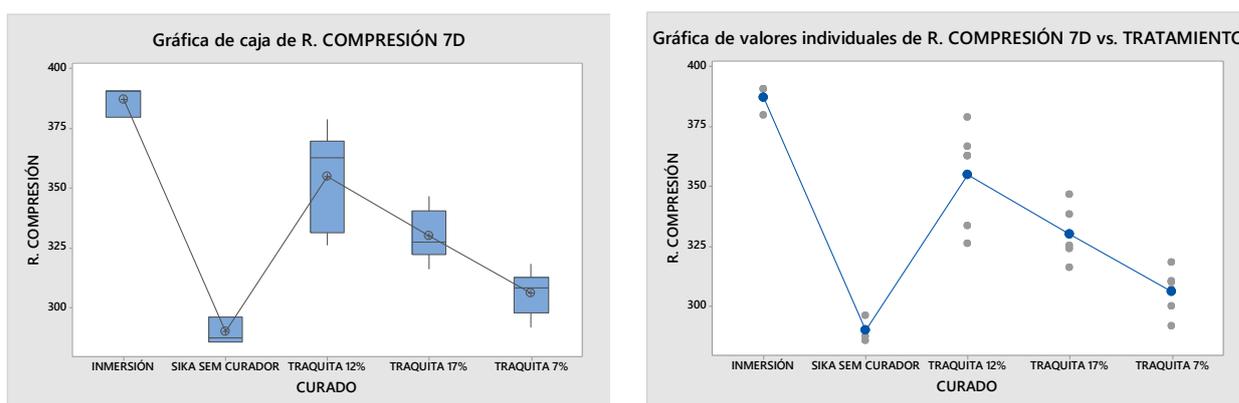


Figura 34. Gráficas de valores individuales y cajas de la resistencia a compresión a los 7 días de edad.

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 importante diferencia estadística entre las medias de los porcentajes de humedad de los diferentes procesos de curado. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de

Tukey los datos de resistencia a compresión de los 5 procesos de curado son estadísticamente diferentes entre sí.

Según la Tabla N° 27, se observa que el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a la retención de humedad es el Curado sumergido en agua (A); le sigue Curado interno mediante la saturación del 12 % de traquita (B); luego le sigue el Curado interno mediante la saturación del 17 % de traquita (C); luego el Curado interno mediante la saturación del 7 % de traquita (D) y el curado de rociado con Sika Sem Curador (D).

b) Análisis estadístico de la resistencia a compresión (14 días).

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de la variable de porcentaje de humedad del ANEXO IV, 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 Figuras:

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor P
CURADO	4	34944	8736.1	23.62	0
Error	19	7026	369.8		
Total	23	41971			

Tabla 28. Análisis de la varianza de la resistencia a compresión del concreto a 14 días.

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 29: Medias de la resistencia a compresión del concreto a 14 días.

CURADO	N	Media	Desv.Est.	Índices de confianza (IC) de 95%
INMERSIÓN	3	435.6	24.7	(412.4, 458.9)
SIKA SEM CURADOR	3	323.47	9.11	(300.23, 346.71)
TRAQUITA 12%	6	375	15.59	(358.57, 391.44)
TRAQUITA 17%	6	364.83	20.8	(348.40, 381.26)
TRAQUITA 7%	6	431.61	21.29	(415.18, 448.05)
Desv.Est. agrupada = 19.2303				

Tabla 30: Agrupación de información de la resistencia a compresión del concreto a 14 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

CURADO	N	Media	Agrupación
INMERSIÓN	3	435.6	A
TRAQUITA 7%	6	431.61	A
TRAQUITA 12%	6	375	B
TRAQUITA 17%	6	364.83	B
SIKA SEM CURADOR	3	323.47	C

(*) Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

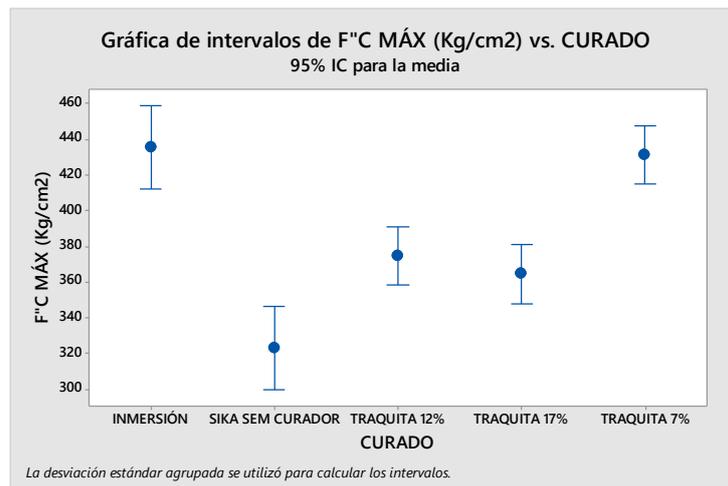


Figura 35. Gráficas de intervalos para agrupaciones de la resistencia a compresión a los 14 días de edad.

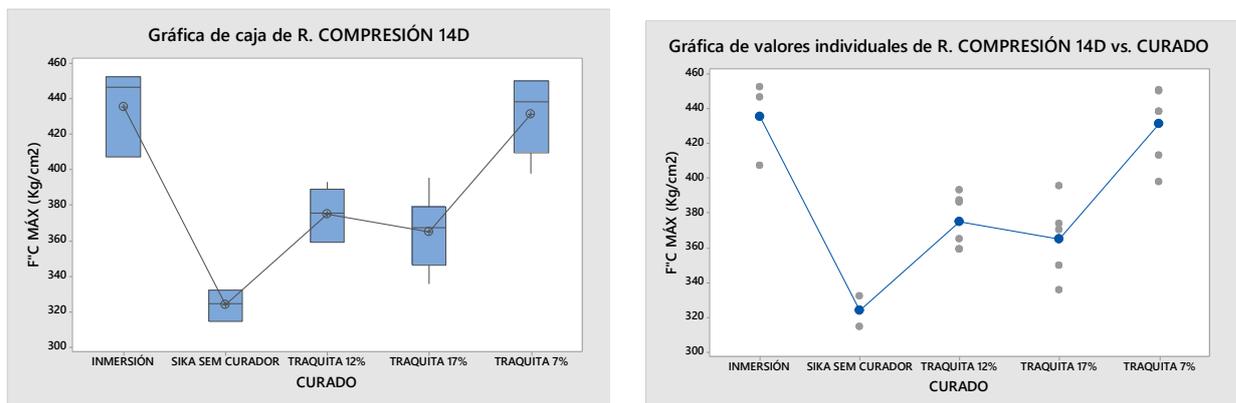


Figura 36. Gráficas de valores individuales y cajas de la resistencia a compresión a los 14 días de edad.

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 importante diferencia estadística entre las medias de los porcentajes de humedad de los diferentes procesos de curado. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de

Tukey los datos de resistencia a compresión de los 5 procesos de curado son estadísticamente diferentes entre sí.

Según la Tabla N° 30, se observa que el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a la retención de humedad es el Curado sumergido en agua (A); le sigue Curado interno mediante la saturación del 7 % de traquita (A); luego le sigue el Curado interno mediante la saturación del 12 % de traquita (B); luego el Curado interno mediante la saturación del 17 % de traquita (B) y el curado de rociado con Sika Sem Curador (C).

c) Análisis estadístico de la resistencia a compresión (28 días).

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de la variable de porcentaje de humedad del ANEXO IV, 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 Figuras:

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor P
CURADO	4	41163	10290.8	11.57	0
Error	19	16895	889.2		
Total	23	58058			

Tabla 31. Análisis de la varianza de la resistencia a compresión del concreto a 28 días.

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 32. Medias de la resistencia a compresión del concreto a 28 días.

CURADO	N	Media	Desv.Est.	Índices de confianza (IC) de 95%
INMERSIÓN	3	466.89	8.77	(430.86, 502.92)
SIKA SEM CURADOR	3	387.32	15.01	(351.29, 423.35)
TRAQUITA 12%	6	407.3	33	(381.8, 432.8)
TRAQUITA 17%	6	369.98	23.08	(344.50, 395.46)
TRAQUITA 7%	6	470.7	40.4	(445.2, 496.2)
Desv.Est. agrupada = 29.8196				

Tabla 33. Agrupación de información de la resistencia a compresión del concreto a 28 días, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

CURADO	N	Media	Agrupación
TRAQUITA 7%	6	470.7	A
INMERSIÓN	3	466.89	AB
TRAQUITA 12%	6	407.3	BC
SIKA SEM CURADOR	3	387.32	C
TRAQUITA 17%	6	369.98	C

(*) Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

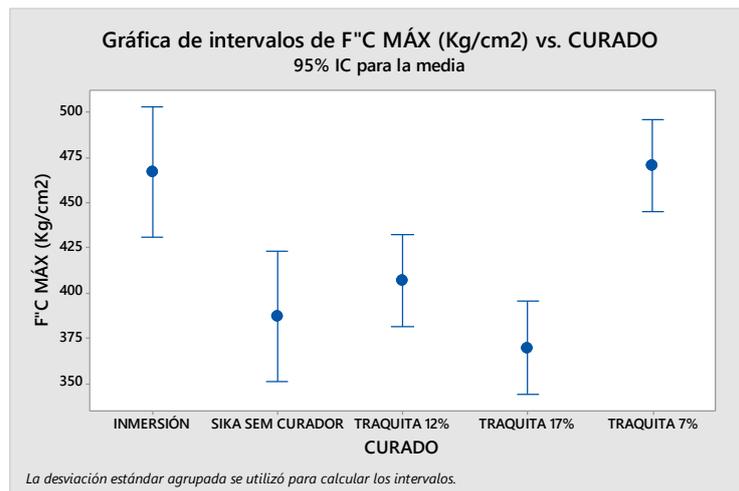


Figura 37. Gráficas de intervalos para agrupaciones de la resistencia a compresión a los 28 días de edad.

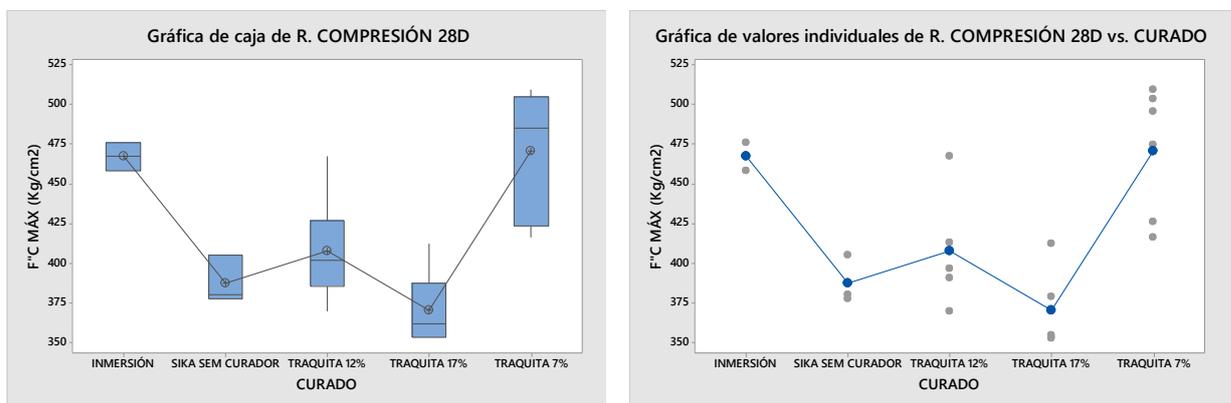


Figura 38- Gráficas de valores individuales y cajas de la resistencia a compresión a los 28 días de edad.

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 importante diferencia estadística entre las medias de los porcentajes de humedad de los diferentes procesos de curado. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de

Tukey los datos de resistencia a compresión de los 5 procesos de curado son estadísticamente diferentes entre sí.

Según la Tabla N° 33, se observa que el tratamiento que mostró mayor superioridad estadística en cuanto a la retención de humedad es el Curado interno mediante la saturación del 7 % de traquita (A); luego le sigue Curado sumergido en agua (AB); le sigue el Curado interno mediante la saturación del 12 % de traquita (BC); luego le sigue curado de rociado con Sika Sem Curador (C); el Curado interno mediante la saturación del 7 % de traquita (C).

4.7.3 Resultados estadísticos de la resistencia a la flexión.

- Análisis estadístico de la resistencia a la flexión.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de los datos de la variable de porcentaje de humedad del ANEXO IV, 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 Figuras:

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor P
CURADO	1	67.26	67.26	3.51	0.09
Error	10	191.41	19.14		
Total	11	258.67			

Tabla 34. Análisis de la varianza de la resistencia a flexión del concreto.

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 35. Medias de la resistencia a flexión del concreto.

CURADO	N	Media	Desv.Est.	Índices de confianza (IC) de 95%
INMERSION	6	48.52	4.3	(44.54, 52.50)
TRAQUITA	6	53.25	4.45	(49.27, 57.23)
Desv.Est. agrupada = 4.37500				

Tabla 36. Agrupación de información de la resistencia a flexión del concreto, según los tratamientos utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

CURADO	N	Media	Agrupación
TRAQUITA	6	53.25	A
INMERSION	6	48.52	A

(*) Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

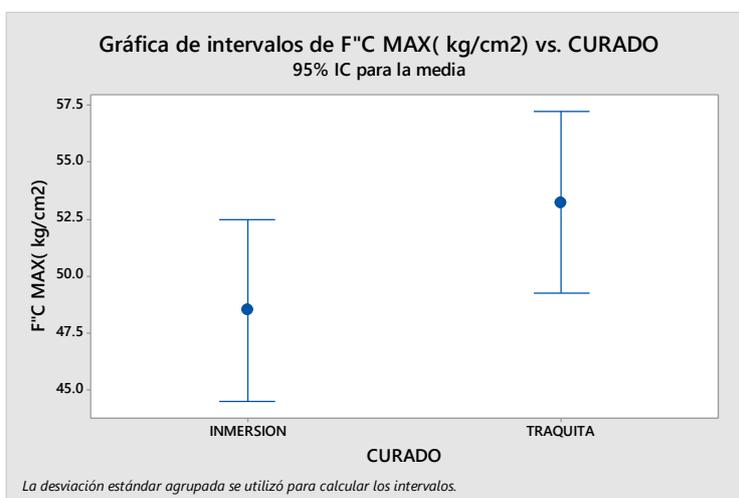


Figura 39. Gráficas de intervalos para agrupaciones de la resistencia a flexión.

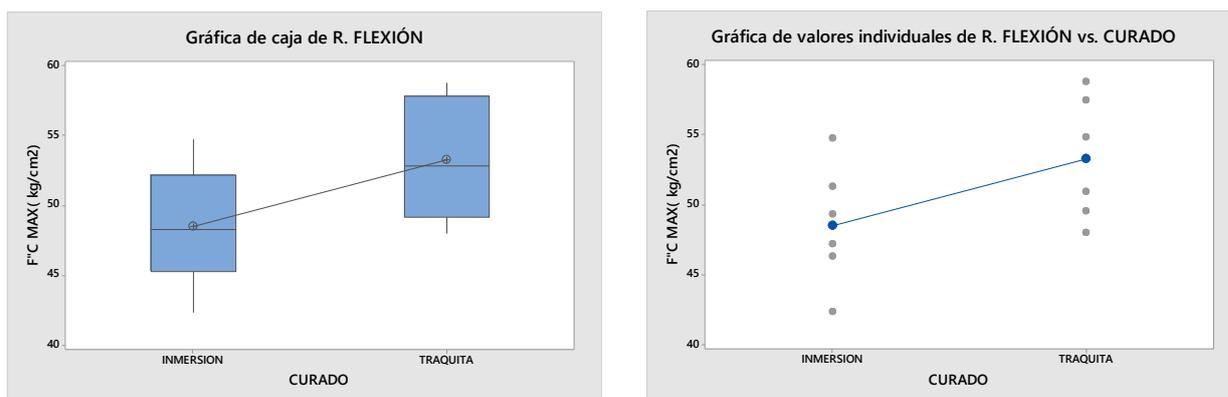


Figura 40 Gráficas de valores individuales y cajas de la a flexión.

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 importante diferencia estadística entre las medias de los porcentajes de humedad de los diferentes procesos de curado. Y, de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los datos de resistencia a flexión de los 2 procesos de curado son estadísticamente diferentes entre sí.

Según la Tabla N° 36, se observa que los tratamientos mostraron valores estadísticamente similares en cuanto a la resistencia a flexión es el Curado sumergido en agua (A) y le sigue Curado interno mediante la saturación del 7 % de traquita (A).

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

La propuesta es factible económicamente, debido a la reducción de costos de aditivo y cantidades en los materiales lo que varía la propuesta de nuestra mezcla patrón es el volumen de traquita la cual será reemplazado parcialmente un porcentaje del agregado grueso aquí presentamos el 7% siendo la propuesta que presento mejores resultados, la traquita se obtuvo mediante reciclaje. Asimismo, se reduce costos de mano de obra para el curado por metro cubico. Estos costos han sido calculados teniendo en cuenta los rendimientos ofrecidos por la CAPECO, considerando el jornal para mano de obra a la fecha y los precios y las cantidades de los agregados obtenidos en los diseños realizados, se realizó el análisis de costos unitarios para la propuesta, obteniéndose los costos presentados. El análisis de costos unitarios será presentado en el ANEXO VIII.

- ✓ Costo por m³– Curado Común con Aditivo = S/ 559.96
- ✓ Costo por m³– Curado Interno (Traquita 7%) = S/ 548.58

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES.

Conclusiones		
Humedad de concreto	7 días	El concreto con $F'c: 420 \text{ Kg/cm}^2$ con un reemplazo de un 17% de traquita en el agregado grueso es más efectivo que los curados mediante uso de aditivo (al mostrar valores mayores en 7.03% pero es menor para curado de inmersión en 5.54%).
	14 días	El concreto con $F'c: 420 \text{ Kg/cm}^2$ con un reemplazo de un 17% de traquita en el agregado grueso es más efectivo que los curados mediante uso de aditivo (al mostrar valores mayores en 6.01% pero es menor para curado de inmersión en 6.36%).
	28 días	El concreto con $F'c: 420 \text{ Kg/cm}^2$ con un reemplazo de un 17% de traquita en el agregado grueso es más efectivo que los curados mediante uso de aditivo (al mostrar valores mayores en 5.03% pero es menor para curado de inmersión en 7.27%).
Resistencia a la compresión	7 días	El concreto con $F'c: 420 \text{ Kg/cm}^2$ con un reemplazo del 12% de traquita en la resistencia a la compresión más efectiva con un valor de 354.87 Kg/cm^2 que los curados mediante uso de curador químico pero inferior que el curado por inmersión con un valor de 387.71 Kg/cm^2
	14 días	El concreto con $F'c: 420 \text{ Kg/cm}^2$ con un reemplazo del 7% de traquita en la resistencia a la compresión más efectiva con un valor de 431.61 Kg/cm^2 que los curados mediante uso de curador químico pero similar que el curado por inmersión con un valor de 435.63 Kg/cm^2
	28 días	El concreto con $F'c: 420 \text{ Kg/cm}^2$ con un reemplazo del 7% de traquita en la resistencia a la compresión más efectiva con un valor de 470.7 Kg/cm^2 que los curados mediante uso de curador químico pero similar que el curado por inmersión con un valor de 466.89 Kg/cm^2
Resistencia a la flexión	28 días	Los especímenes de concreto $F'c: 420 \text{ Kg/cm}^2$ mediante reemplazo de un 7% de agregado grueso por fragmentos de traquita saturada presentan resultados similares en la resistencia a la flexión del concreto para curado patrón de inmersión al mostrar valores similares en 53.25 Kg/cm^2 y 48.52 Kg/cm^2 respectivamente

- El concreto con $F'c: 420 \text{ Kg/cm}^2$ con un reemplazo de un 17% de traquita en el agregado grueso es más efectivo en retención de humedad del concreto endurecido que los curados mediante uso de aditivo (al mostrar valores mayores en 7.03%; 6.01% y 5.03% a los 7, 14 y 28 días, respectivamente; pero para curado patrón de inmersión en agua presenta una relación inversa (al mostrar valores menores en 5.54%; 6.36% y 7.27% a los 7, 14 y 28 días, respectivamente).
- El concreto con $F'c: 420 \text{ Kg/cm}^2$ con un reemplazo del 12% de traquita en el agregado grueso, presenta a los 7 días en la resistencia a la compresión más efectiva con un valor de 354.87 Kg/cm^2 que los curados mediante uso de curador químico con un valor de 289.73 Kg/cm^2 pero inferior que el curado por inmersión con un valor de 387.71 Kg/cm^2 .
- El concreto con $F'c: 420 \text{ Kg/cm}^2$ con un reemplazo del 7% de traquita en el agregado grueso es más efectivo en la resistencia a la compresión del concreto que los curados mediante uso de aditivo (al mostrar valores mayores en 431.61 Kg/cm^2 y 470.7 Kg/cm^2 a los 14 y 28 días), respectivamente; pero para curado patrón de inmersión en agua presenta resultados similares (al mostrar valores similares en 435.63 Kg/cm^2 y 466.89 Kg/cm^2 a los 14 y 28 días).
- Los especímenes de concreto $F'c: 420 \text{ Kg/cm}^2$ mediante reemplazo de un 7% de agregado grueso por fragmentos de traquita saturada presentan resultados similares en el módulo de elasticidad de la resistencia a la compresión del concreto para curado patrón de inmersión y este resultado es muy superior para el curado con curador químico.
- Los especímenes de concreto $F'c: 420 \text{ Kg/cm}^2$ mediante reemplazo de un 7% de agregado grueso por fragmentos de traquita saturada presentan resultados similares en la resistencia a la flexión del concreto para curado patrón de inmersión (al mostrar valores similares en 53.25 Kg/cm^2 y 48.52 Kg/cm^2 respectivamente a los 28 días).

- Finalmente se llega a concluir que el remplazo de agregado grueso por fragmentos de 7% traquita es el óptimo ya que con él se alcanza el 110% de la resistencia especificada a una edad de los 28 días
- Los resultados estadísticos de la retención de humedad de los especímenes de concreto endurecido a los 28 días se concluyó que el Curado sumergido en agua (A); le sigue Curado interno mediante la saturación del 17 % de traquita (B); luego le sigue el Curado interno mediante la saturación del 12 % de traquita(C); luego el Curado interno mediante la saturación del 7 % de traquita (D) y el curado de rociado con Sika Sem Curador (E).
- El resultado estadístico de la resistencia a la compresión a los 28 días se concluyó que el Curado interno mediante la saturación del 7 % de traquita (A); luego le sigue Curado sumergido en agua (AB); le sigue el Curado interno mediante la saturación del 12 % de traquita (BC); luego le sigue curado de rociado con Sika Sem Curador (C); el Curado interno mediante la saturación del 7 % de traquita (C).
- El resultado estadístico de la resistencia a la flexión a los 28 días se concluyó que el Curado sumergido en agua (A) y le sigue Curado interno mediante la saturación del 7 % de traquita (A).

5.2 RECOMENDACIONES.

- ✓ Realizar futuras investigaciones utilizando agregados con alto grado de absorción en el concreto con la finalidad de evaluar un curado interno y su influencia en las propiedades del concreto. Para dicho fin se pueden hacer uso de las variables presentadas en esta Tesis o variarlas como son el caso del $f'c$, edades de ensayo, propiedades de los agregados, tipo de cemento, condiciones ambientales, dosis de aditivo.

- ✓ En los estudios relacionados con el tema, realizar ensayos del concreto no solo hasta los 28 días de edad de las muestras estos ensayos, sino a una mayor edad, ya que como se observó en la bibliografía, el desarrollo de la resistencia se extiende hasta una edad avanzada.

- ✓ Se recomienda a las empresas involucradas en la industria de la construcción que tomen en cuenta la propuesta de esta tesis, por haber obtenido buenos resultados, como se observa en las conclusiones, presenta resultados similares por el curado por inmersión, cuya aplicación es bastante limitada.

- ✓ Se recomienda que en futuras investigaciones se varié el tamaño máximo nominal de los fragmentos de traquita que remplacen al agregado de traquita por ejemplo el de $\frac{1}{2}$ ya que se ha podido observar que a menor tamaños de fragmento hay mejor dispersión granulométrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIAS

Aldana, Eder. 2014. Uso de material cerámico como material para curado interno en mezclas de concreto. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2014, págs. 16, 20.

ASTM C 150. **ASTM International. 2012.** USA: Especificaciones estándar para cementos portland, 2012.

ASTM C 31M-08a. **ASTM Internacional. 2008.** USA: Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra, 2008.

ASTM C 39. **ASTM International. 1999.** USA: Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto, 1999.

Bentz, D y Snyder, K. 1999. Protected paste volume in concrete: extension to internal curing using saturated lightweight fine aggregates. USA: Cement and Composites Researche, 1999.

Bentz, Dale y Weiss, Jason. 2011. Internal curing: A 2010 State of the Art Review. EE.UU.: National Institute of, 2011.

Buchholz, F y Graham, A. 1989. Modern super-absorbent polymer. 1989.

Esteves, L. P., y otros. 2009. Efecto de las condiciones de curado en las propiedades mecánicas de los morteros con partículas superabsorbentes. Portugal : s.n., 2009.

Hanson, J. A. 1968. Effects of Curing and Drying Environments on Splitting Tensile Strength of Concrete (Efecto de los Ambientes de Curado y Secado sobre la Resistencia a la Tensión Indirecta del Concreto). USA: Portland, 1968, pág. 11.

Hedenblad, Göran. 1998. “Concrete Drying Time (Tiempo de Secado del Concreto),” Concrete Technology Today. USA: Portland Cement Association, 1998, págs. 4, 5.

Henkensiefken, R., y otros. 2009. Volume change and cracking in internally cured mixtures made with saturated lightweight aggregate under sealed and unsealed conditions. 2009.

Jensen, O. y Hansen, P. 2002. Water-Entrained Cement-Based Materials: II. Experimental Observations. Cement and Concrete Research. EE.UU. : s.n., 2002, págs. 973-978.

Kosmatka, Steven, y otros. 2004. Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Illinois, EE.UU. : Portland Cement Association, 2004, págs. 261,262.

Lange, David A. 1994. Long-Term Strength Development of Concrete (Desarrollo de la Resistencia del Concreto a Largo Plazo). USA: Portland Cement Association, 1994.

López, Mauricio, Kahn, Lawrence F. y Kurtis, Kimberly E. 2005. Curado interno en hormigones de alto desempeño - un nuevo paradigma. Atlanta, U.S.A: s.n., 2005, págs. 117 - 126.

Martinez, Diego. 2010. Concreto liviano estructural con arcilla expandida termicamente extraída de canteras localizadas en el Sur de la Sabana de Bogotá. BOGOTÁ - COLOMBIA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2010.

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.088. INDECOPI. 1982. Lima, Perú: HORMIGON (CONCRETO). Agua para morteros y hormigones de cementos Portland. Requisitos, 1982.

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.185. INDECOPI. 2002. 1ra edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido total de humedad evaporable en agregados por secado, 2002.

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.018. INDECOPI. 2002. 2da Edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 um (200) por lavado en agregados, 2002.

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.021. INDECOPI. 2002. 2da Edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para espeso específico y absorción del agregado grueso., 2002.

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.022. INDECOPI. 2002. 2a. ed., Lima, Perú : AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso., 2002.

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.037. INDECOPI. 2002. 2da Edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto), 2002.

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.037. INDECOPI. 2002. Lima, Perú: AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto), 2002.

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.043. INDECOPI. 2006. Lima, Perú: AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo, 2006.

Resistencia de concreto con agregado de alta absorción y baja relación a/c. Solís, R. G., Moreno, E. I. y Arjona, E. Enero - Abril 2012. 1, Yucatán, México : Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción- Universidad Autónoma de Yucatán, Enero - Abril 2012, Vol. 2.

Rivva, Enrique. 2010. CONCRETO, TOMO II: Diseño de Mezclas. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia, 2010, págs. 12, 26, 28, 29, 53, 57, 61, 83.

—. **2004.** Naturaleza y Materiales del Concreto. Lima, Perú : Instituto de la Construcción y Gerencia, 2004, págs. 8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,26,30,31,245,246.

Shohei, Seiki, y otros. 2010. Effectiveness of Porous Ceramic Waste as an Internal Curing

Material for Fly Ash Concrete. S.l.: Coventry University, 2010.

Spanish Edition ACI 318S-08. American Concrete Institute. 2008. USA: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario, 2008.

Suzuki, Masashiro y Seddik, Mohammed. 2009. Use of porous ceramic waste aggregates for internal curing of high highperformance. Hiroshima, Japón: Hiroshima University, 2009.

Tejada, Luis Matías. 2016. Efectividad del curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso en comparación a otros tipos de curado. Cajamarca, Perú: UNC, 2016.

Trujillo R., Raúl. 2011. Uso de agregado ligero como medio de curado interno en concretos de alto comportamiento fabricado con puzolanas. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, España: Universidad Autónoma De Nuevo León, 2011.

ANEXOS

ANEXO I: Cálculos y resultados de los análisis físicos de los agregados.

A. Análisis Granulométrico Del Agregado Fino. NTP 400.012, / A.S.T.M.C -136.

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL (gr.)	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO NTP 400:037	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	236.3	19.69	19.69	92.00	89	100
N°8	2.36	218.1	18.18	37.87	82.00	80	100
N°16	1.18	149.9	12.49	50.36	53.00	50	85
N°30	0.60	183.4	15.28	65.64	34.36	25	60
N°50	0.30	199.6	16.63	82.28	17.73	10	30
N°100	0.15	116.7	9.73	92.00	8.00	2	10
CAZOLETA	--	96	8.00	100.00	0.00	Módulo de Finura	
PESO TOTAL DE MUESTRA		1200.00	100.00			3.48	

Tabla 37 . Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 01

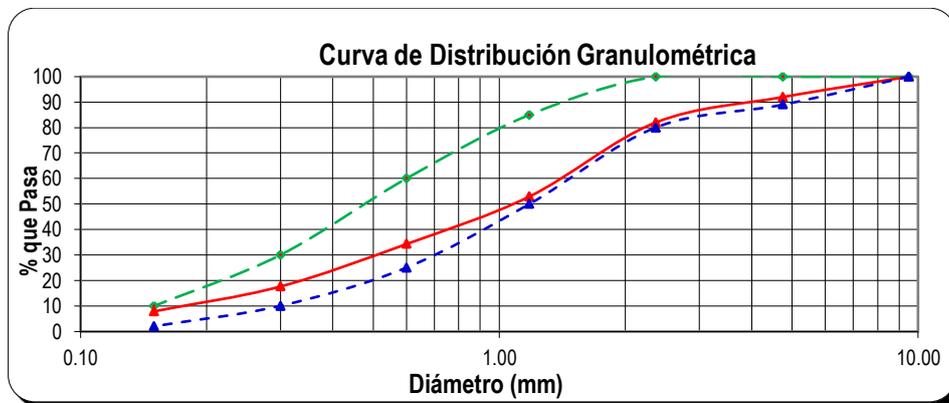


Figura 41. Granulometría del Agregado Fino con el HUSO según la NTP 400.037.

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL (gr.)	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO NTP 400:037	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	188.3	18.83	18.83	92.00	89	100
N°8	2.36	202.9	20.29	39.12	82.00	80	100
N°16	1.18	134.4	13.44	52.56	53.00	50	85
N°30	0.60	158.5	15.85	68.41	31.59	25	60
N°50	0.30	143.7	14.37	82.78	17.22	10	30
N°100	0.15	125	12.50	95.28	4.72	2	10
CAZOLETA	--	47.2	4.72	100.00	0.00	Módulo de Finura	
PESO TOTAL DE MUESTRA		1000.00	100.00			3.57	

Tabla 38 . Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 02.

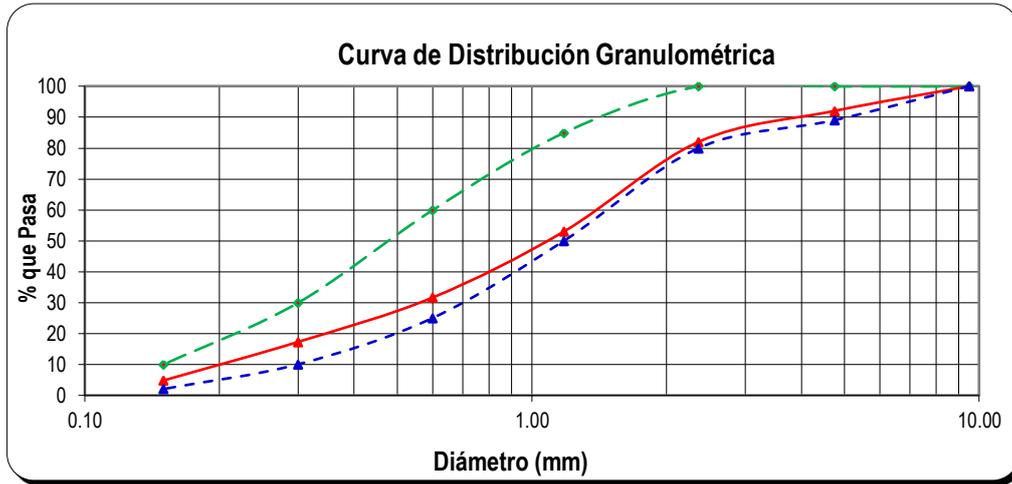


Figura 42. Granulometría del Agregado Fino con el HUSO según la NTP 400.037

TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL (gr.)	PORCENTAJE RETENINIDO		PORCENTAJE QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO NTP 400:037	
			PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)			
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	217	19.73	19.73	92.00	89	100
N°8	2.36	173	15.73	35.45	82.00	80	100
N°16	1.18	137	12.45	47.91	53.00	50	85
N°30	0.60	139	12.64	60.55	39.45	25	60
N°50	0.30	215	19.55	80.09	19.91	10	30
N°100	0.15	130	11.82	91.91	8.09	2	10
CAZOLETA	--	89	8.09	100.00	0.00	Módulo de Finura	
PESO TOTAL DE MUESTRA		1100.00	100.00			3.36	

Tabla 39. Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 03

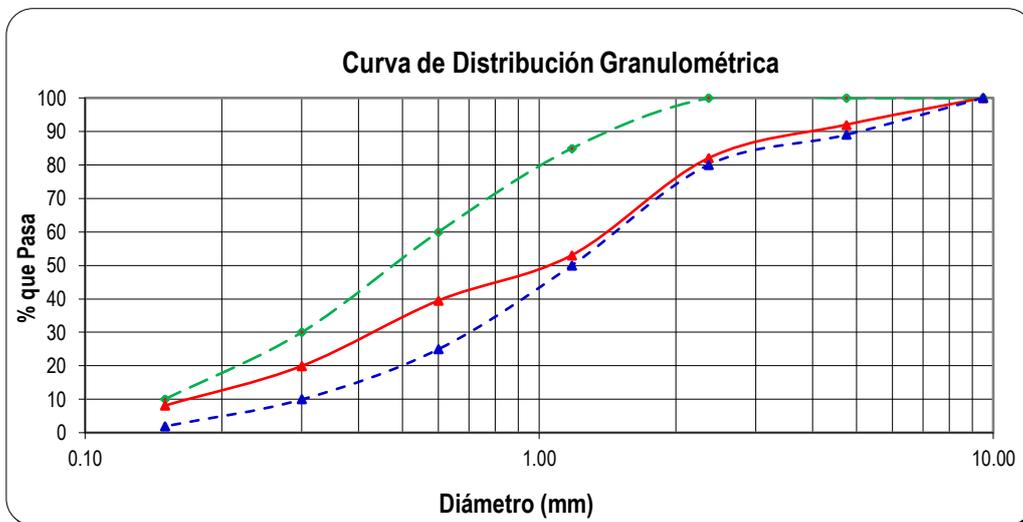


Figura 43. Granulometría del Agregado Fino con el HUSO según la NTP 400.037.

Módulo de fineza del Agregado Fino (AF)

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

Ensayo N°1:

$$MF = \frac{19.69 + 37.87 + 50.36 + 65.64 + 82.28 + 92.0}{100} = 3.48$$

Ensayo N°2:

$$MF = \frac{18.83 + 39.12 + 52.56 + 68.41 + 82.78 + 95.28}{100} = 3.57$$

Ensayo N°3:

$$MF = \frac{19.73 + 35.45 + 47.91 + 60.55 + 80.09 + 91.91}{100} = 3.36$$

Módulo de finura Agregado Fino Promedio: 3.47

B. Análisis Granulométrico Del Agregado grueso. NTP 400.012, NTP 400.037 / A.S.T.M.C -136.

TAMIZ		PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA	HUSO GRANULOMÉTRICO 56		
N°	ABER. (mm)					100	—————	100
1 1/2	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	—————	100
1	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	90	—————	100
3/4	19.00	2040.00	25.50	25.50	74.50	40	—————	95
1/2	12.70	3240.00	40.50	66.00	34.00	10	—————	40
3/8	9.51	1694.00	21.18	87.18	12.83	0	—————	15
N° 4	4.76	1026.00	12.83	100.00	0.00	0	—————	5
CAZOL.		0.00	0.00	100.00	0.00	MODULO DE FINURA		
TOTAL		8000.00				7.13		

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL (TMN) =	1
-------------------------------	---

Tabla 40 . Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 01

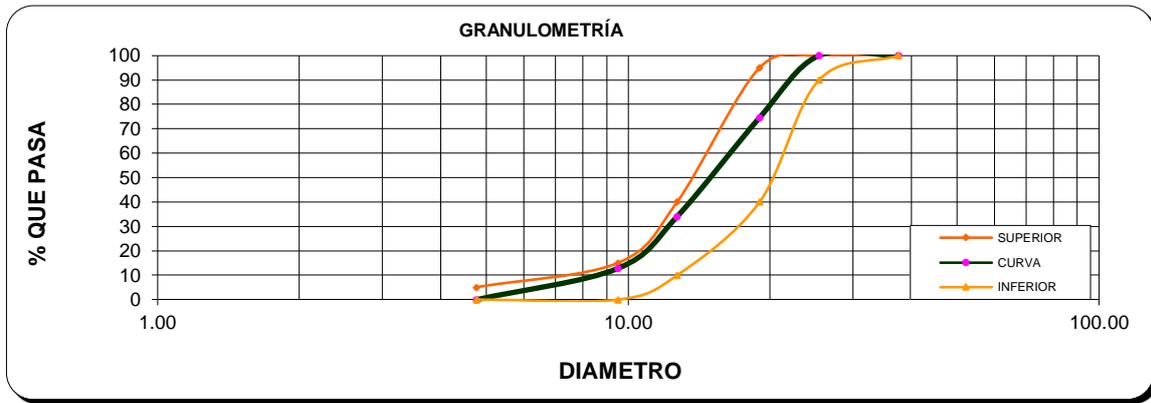


Figura 44. Granulometría del Agregado Grueso con el HUSO N° 56 de la ASTM

TAMIZ		PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA	HUSO GRANULOMÉTRICO 56		
N°	ABER. (mm)					100	—	100
1 1/2	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	—	100
1	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	90	—	100
3/4	19.00	1650.00	20.63	20.63	79.38	40	—	95
1/2	12.70	3089.00	38.61	59.24	40.76	10	—	40
3/8	9.51	2587.00	32.34	91.58	8.43	0	—	15
N° 4	4.76	674.00	8.43	100.00	0.00	0	—	5
CAZOL.		0.00	0.00	100.00	0.00	MODULO DE FINURA		
TOTAL		8000.00				7.12		

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL (TMN) = 1

Tabla 41 . Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 02

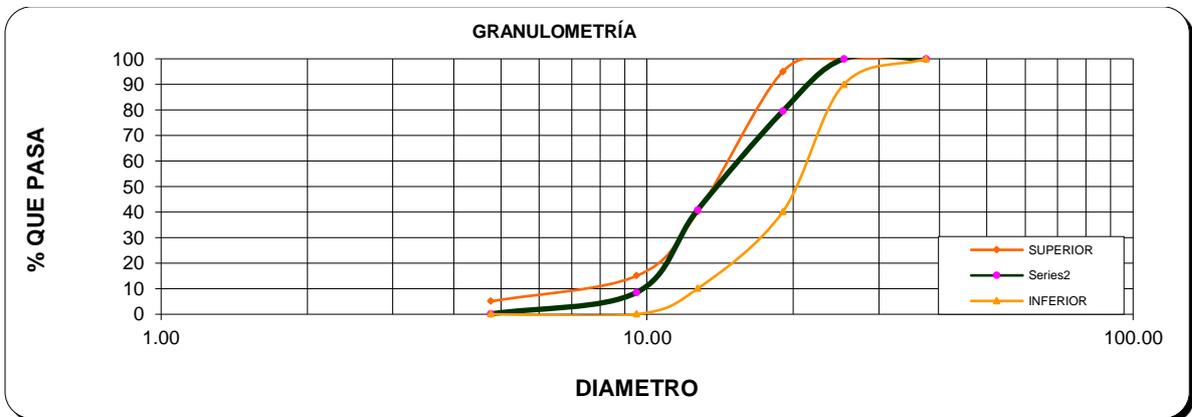


Figura 45: Granulometría del Agregado Grueso con el HUSO N° 56 de la ASTM

TAMIZ		PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA	HUSO GRANULOMÉTRICO 56	
N°	ABER. (mm)						
1 1/2	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	90	100
3/4	19.00	1740.00	21.75	21.75	78.25	40	95
1/2	12.70	3021.00	37.76	59.51	40.49	10	40
3/8	9.51	2341.00	29.26	88.78	11.23	0	15
N° 4	4.76	898.00	11.23	100.00	0.00	0	5
CAZOL.		0.00	0.00		100.00	MÓDULO DE FINURA	
TOTAL		8000.00				7.11	

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL (TMN) = 1

Tabla 42. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 03

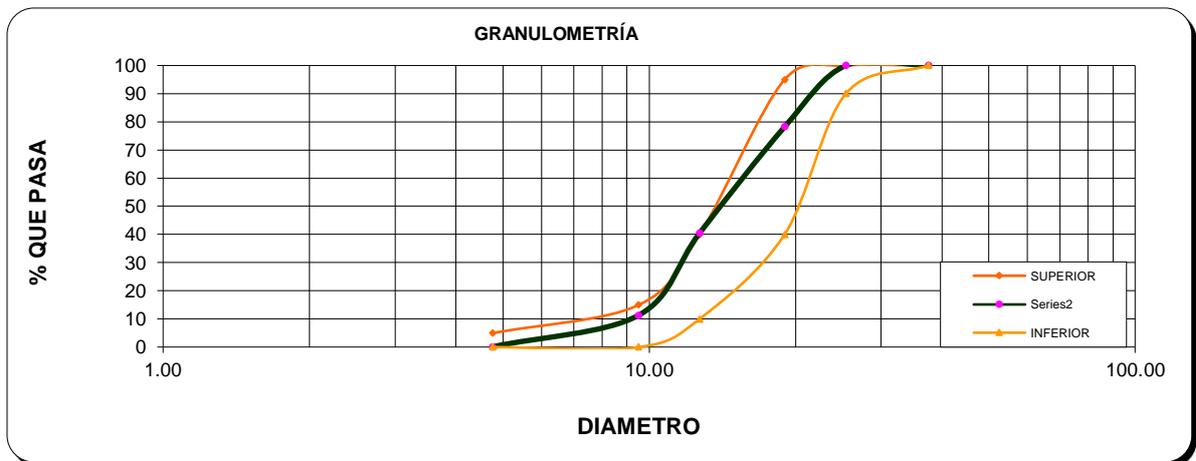


Figura 46: Granulometría del Agregado Grueso con el HUSO N° 56 de la ASTM

Módulo de fineza del Agregado Grueso (AG)

MF

$$= \frac{\sum \%ret. acum. Ma 3; 11/2"; 3/4"; 3/8"; N° 4; N° 8; N° 16; N° 30; N° 50; y N° 100}{100}$$

Ensayo N°1:

$$MF = \frac{25.5 + 87.18 + 100 + 500}{100} = 7.13$$

Ensayo N°2:

$$MF = \frac{20.63 + 91.58 + 100 + 500}{100} = 7.12$$

Ensayo N°3:

$$MF = \frac{21.75 + 88.78 + 100 + 500}{100} = 7.11$$

Módulo de finura del Agregado Grueso Promedio: 7.12.

C. Peso específico y absorción del agregado Fino. (NTP 400.022, ASTM C-128.)

Datos tomados en laboratorio para hallar el peso específico.

DATOS	1°	2°	3°
$W_{\text{agregado SSS}} \text{ (gr)}$	500.00	500.00	500.00
$W_{\text{fiola.}} \text{ (gr)}$	158.30	158.30	158.30
$W_{\text{agua + fiola}} \text{ (gr)}$	655.00	655.00	655.00
$W_{\text{fiola + agregado + agua}} \text{ (gr)}$	966.90	966.40	965.80
$V_a = V_{\text{agua añadida}} \text{ (cm}^3\text{)}$	308.60	308.10	307.50
$W_{\text{tara}} \text{ (gr)}$	36.5	36	36
$W_{\text{tara + muestra seca}} \text{ (gr)}$	528.50	528.10	528.30
$W_o = W_{\text{Muestra Seca}} \text{ (gr)}$	492.00	492.10	492.30

Cálculos:

ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
W_o =Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)	492.00	492.10	492.30	492.13
V =Volumen del frasco (cm ³)	500.00	500.00	500.00	500.00
V_a =Peso en gr o volumen del agua añadida al frasco (gr)	308.60	308.10	307.50	308.07
a. Peso específico de masa $P_{em} = W_o / (V - V_a)$	2.571	2.564	2.557	2.56
b. Peso específico de masa saturada con superficie seca $P_{esss} = 500 / (V - V_a)$	2.612	2.606	2.597	2.61
c. Peso específico aparente $P_{ea} = W_o / ((V - V_a) - (500 - W_o))$	2.683	2.674	2.664	2.67
d. Absorsion $Abs = ((500 - W_o) / W_o) * 100$	1.626	1.605	1.564	1.60

Tabla 43 . Peso Específico y Absorción del Agregado Fino.

D. Peso específico y absorción del agregado grueso. (NTP 400.021, ASTM C-127).

Datos tomados en laboratorio para hallar el peso específico.

DATOS	1°	2°	3°
$B=W_{\text{grava S.S.S. (gr)}}$	4975.00	5000.00	4980.00
$W_{\text{Malla + grava sumergida (gr)}}$	5275.00	5260.00	5278.00
$W_{\text{Malla Sumergida (gr)}}$	2314.00	2314.00	2314.00
$C=W_{\text{Grava Sumergida (gr)}}$	2961.00	2946.00	2964.00
$W_{\text{Grava Seca (gr) + tara}}$	5150.00	5170.00	5160.50
W_{tara}	240.00	239.00	249.00
$A=W_{\text{Grava Seca (gr)}}$	4910.00	4931.00	4911.50

Cálculos:

ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
$A=\text{Peso en el aire de la muestra seca al horno (gr)}$	4910.00	4931.00	4911.50	4917.50
$B=\text{Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr)}$	4975.00	5000.00	4980.00	4985.00
$C=\text{Peso en el agua de la muestra saturada (gr)}$	2961.00	2946.00	2964.00	2957.00
a. $\text{Peso específico de masa } P_{e}=\frac{A}{(B-C)}$	2.44	2.40	2.44	2.42
b. $\text{Peso específico de masa saturada con superficie seca } P_{\text{esss}}=\frac{B}{(B-C)}$	2.47	2.43	2.47	2.46
c. $\text{Peso específico aparente } P_{\text{ea}}=\frac{A}{(A-C)}$	2.52	2.48	2.52	2.51
d. $\text{Absorción } \text{Abs}=\frac{(B-A)}{A} \times 100$	1.32	1.40	1.39	1.37

Tabla 44 . Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.

E. Peso específico y absorción de la Traquita.

Datos tomados en laboratorio para hallar el peso específico.

DATOS	1°	2°	3°
$B=W_{\text{traquita s.s.s.}} \text{ (gr)}$	3500.70	3500.00	3500.15
$W_{\text{Malla + traquita sumergida}} \text{ (gr)}$	2746.90	2742.30	2740.50
$W_{\text{Malla Sumergida}} \text{ (gr)}$	994.70	994.70	994.70
$C=W_{\text{traquita Sumergida}} \text{ (gr)}$	1752.20	1747.60	1745.80
$W_{\text{traquitaSeca}} \text{ (gr) + tara}$	3250.00	3238.00	3265.00
W_{tara}	250.00	240.00	260.00
$A=W_{\text{traquitaSeca}} \text{ (gr)}$	3000.00	2998.00	3005.00

Cálculos:

ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
A=Peso en el aire de la muestra seca al horno (gr)	3000.00	2998.00	3005.00	3001.00
B=Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr)	3500.70	3500.00	3500.15	3500.28
C=Peso en el agua de la muestra saturada (gr)	1752.20	1747.60	1745.80	1748.53
a. Peso específico de masa $P_e=A/(B-C)$	1.72	1.71	1.71	1.71
b. Peso específico de masa saturada con superficie seca $P_{\text{esss}}=B/(B-C)$	2.00	2.00	2.00	2.00
c. Peso específico aparente $P_{\text{ea}}=A/(A-C)$	2.40	2.40	2.39	2.40
d. Absorsion $\text{Abs}=\frac{(B-A)}{A} \cdot 100$	16.69	16.74	16.48	16.64

Tabla 45 . Peso Específico y Absorción del Traquita.

F. Peso unitario seco suelto y compactado del Agregado Fino. NTP 400.017, / ASTM C-29.

- **Peso unitario suelto del agregado fino.**

Peso unitario de los agregados ASTM C29 / NTP 400.017			
PROCEDENCIA :		Cantera "Roca Fuerte", Río Chonta - Bl.	
TIPO DE AGREGADO :		Agregado Fino (Arena).	
TIPO DE PRUEBA :		Peso unitario suelto.	
ENSAYO N°	1	2	3
PESO DE RECIPIENTE (kg)	3881.00	3881.00	3881.00
PESO DE RECIP. + MATERIAL (g)	8166.00	8161.00	8170.00
PESO DEL MATERIAL (g)	4285.00	4280.00	4289.00
FACTOR (f)	0.339	0.339	0.339
PESO UNIT. SUELTO (kg/m ³)	1453.0	1451.3	1454.4
PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO (kg/m³) =		1452.92	

Tabla 46 . Peso Unitario Suelto del Agregado Fino.

- **Peso unitario compactado del agregado fino.**

Peso unitario de los agregados ASTM C29 / NTP 400.017			
PROCEDENCIA :		Cantera "Roca Fuerte", Río Chonta - Bl.	
TIPO DE AGREGADO :		Agregado Fino (Arena).	
TIPO DE PRUEBA :		Peso unitario compactado.	
ENSAYO N°	1	2	3
PESO DE RECIPIENTE (kg)	3881.00	3881.00	3881.00
PESO DE RECIP. + MATERIAL (g)	8622.00	8626.00	8624.00
PESO DEL MATERIAL (g)	4741.00	4745.00	4743.00
FACTOR (f)	0.339	0.339	0.339
PESO UNIT. SUELTO (kg/m ³)	1607.7	1609.0	1608.3
PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO (kg/m³) =		1608.34	

Tabla 47 . Peso Unitario Compactado del Agregado Fino.

G. Peso unitario seco suelto y compactado del Agregado Grueso. NTP 400.017, / ASTM C29 -29.

- Peso unitario suelto del agregado Grueso.

Peso unitario de los agregados ASTM C29 / NTP 400.017			
PROCEDENCIA :		Cantera "Roca Fuerte", Río Chonta - Bl.	
TIPO DE AGREGADO :		Agregado Grueso (grava).	
TIPO DE PRUEBA :		Peso unitario suelto.	
ENSAYO N°	1	2	3
PESO DE RECIPIENTE (kg)	4201.00	4201.00	4201.00
PESO DE RECIP. + MATERIAL (g)	17360.00	17490.00	17401.00
PESO DEL MATERIAL (g)	13159.00	13289.00	13200.00
FACTOR (f)	0.106	0.106	0.106
PESO UNIT. SUELTO (kg/m³)	1391.8	1405.5	1396.1
PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO (kg/m³) =		1397.78	

Tabla 48. Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso.

- Peso unitario compactado del agregado Grueso.

Peso unitario de los agregados ASTM C29 / NTP 400.017			
PROCEDENCIA :		Cantera "Roca Fuerte", Río Chonta - Bl.	
TIPO DE AGREGADO :		Agregado Grueso (grava).	
TIPO DE PRUEBA :		Peso unitario compactado.	
ENSAYO N°	1	2	3
PESO DE RECIPIENTE (kg)	4201.00	4201.00	4201.00
PESO DE RECIP. + MATERIAL (g)	18736.00	18485.00	18339.00
PESO DEL MATERIAL (g)	14535.00	14284.00	14138.00
FACTOR (f)	0.106	0.106	0.106
PESO UNIT. SUELTO (kg/m³)	1537.3	1510.7	1495.3
PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO (kg/m³) =		1514.44	

Tabla 49. Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso.

H. Contenido de Humedad. NTP 339.185 ASTM C-566.

- **Agregado Fino.**

Contenido de humedad de los agregados			
ASTM C566 / NTP 339.185			
PROCEDENCIA :	Cantera "Roca Fuerte", Río Chonta - Bl.		
TIPO DE AGREGADO :	Agregado Fino (Arena).		
TIPO DE PRUEBA :	Contenido de Humedad Agregado Fino.		
ENSAYO N°	1	2	3
PESO DE RECIPIENTE (g)	38.00	40.20	38.70
PESO M. HÚM.+RECIP. (g)	542.00	544.00	570.00
PESO M. SECA.+RECIP. (g)	527.00	530.00	554.20
PESO DEL AGUA (g)	15.00	14.00	15.80
PESO M. SECA (g)	489.00	489.80	515.50
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	3.067	2.858	3.065
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =			3.00

Tabla 50 . Contenido de Humedad Agregado Fino

- **Agregado Grueso.**

Contenido de humedad de los agregados			
ASTM C566 / NTP 339.185			
PROCEDENCIA :	Cantera "Roca Fuerte", Río Chonta - Bl.		
TIPO DE AGREGADO :	Agregado Grueso (grava).		
TIPO DE PRUEBA :	Contenido de Humedad Agregado Grueso.		
ENSAYO N°	1	2	3
PESO DE RECIPIENTE (g)	90.00	87.00	85.00
PESO M. HÚM.+RECIP. (g)	1090.00	1258.00	1273.00
PESO M. SECA.+RECIP. (g)	1075.90	1240.50	1255.00
PESO DEL AGUA (g)	14.10	17.50	18.00
PESO M. SECA (g)	985.90	1153.50	1170.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.430	1.517	1.538
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =			1.50

Tabla 51 . Contenido de Humedad Agregado Grueso.

I. Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado fino y grueso. ASTM.C - 117 / NTP 400.018

Material fino contenido en los agregados			
ASTM C117 / NTP 400.018			
PROCEDENCIA :		Cantera "Roca Fuerte", Río Chonta - Bl.	
TIPO DE AGREGADO :		Agregado Fino (Arena).	
TIPO DE PRUEBA :		Material Fino que Pasa el Tamiz N°200	
IDENT. DE MUESTRA	PESO INICIAL SECO (g)	PESO FINAL SECO Lavado × malla #200 (g)	% DE FINOS
Arena - M1	507.0	501.8	1.03
Arena - M2	500.0	492.0	1.60
Arena - M3	504.0	497.0	1.39
PROMEDIO			1.34

Tabla 52. Material Fino que pasa el Tamiz N°200.

J. Desgaste a la abrasión. NTP 400.017, NTP 400.0119 / ASTM C -131

Resistencia a la Abrasión de los agregados					
Máquina de los Ángeles					
ASTM C131 / NTP 400.019					
PROCEDENCIA :		Cantera "Roca Fuerte", Río Chonta - Bl.			
TIPO DE AGREGADO :		Agregado Grueso (Grava).			
IDENT. DE MUESTRA	TIPO GRANULOM.	NÚMERO ESFERAS	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	% DE DESGASTE
TMN = 1"	"A"	12	5000.0	3625.00	27.50

Tabla 53. Resistencia a la Abrasión.

5° CALCULO DEL VOLUMEN DE LA PASTA

Cemento:	0.1374
H2O:	0.1886
Aditivo:	0.0023
Aire:	<u>0.02</u>
	0.3483 m3

6° CALCULO DEL VOLUMEN DE LOS AGREGADOS

$$V_{ag} = 0.6517 \text{ m}^3$$

7° CÁLCULO DEL MODULO DE FINURA

10	↔	5.26
10.09	↔	mc
11	↔	5.34

Hallamos el valor de mc

$$mc = 5.267$$

$$mc = r_f \times m_f + r_g \times m_g; \quad r_f + r_g = 1$$

$$5.267 = r_f \times 3.47 + r_g \times 7.12$$

$$r_f = 50.77\% \quad r_g = 49.23\%$$

8° CÁLCULO DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

$$A_f = 0.6517 \times 0.5077 = 0.3308 \text{ m}^3$$

$$A_g = 0.6517 \times 0.4923 = 0.3209 \text{ m}^3$$

9° CÁLCULO DEL PESO ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

$$A_f = 0.3308 \times 2560 = 846.85 \text{ kg}$$

$$A_g = 0.3209 \times 2420 = 776.58 \text{ kg}$$

Como la mezcla es sobre arenosa

$$\text{Peso } A_g = 776.58 \times 1.1 = 854.24 \text{ kg}$$

$$\text{Vol } A_g = 854.24 / 2420 = 0.353 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol } A_f = 0.6517 - 0.353 = 0.2987 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso } A_f = 0.2987 \times 2560 = 764.67 \text{ kg}$$

10° CORRECCION POR HÚMEDAD

CEMENTO=	428.64 kg
H2O=	179.63 lts
ADITIVO=	2.55 lts
Af=	787.61 kg
Ag=	861.93 kg

B. DISEÑO 2: Diseño de mezcla en el cual se coloca el 7% de traquita en el volumen del Agregado Grueso.

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

TESIS : "CONCRETO AUTOCURABLE DE ALTA RESISTENCIA F'c=420 Kg/Cm2, CON UN PORCENTAJE DE TRAQUITA EN EL AGREGADO GRUESO COMPARADO CON LOS PROCESOS MAS USADOS DE CURADO "

TIPO DE MEZCLA: MEZCLA PATRÓN + TRAQUITA AL 7%

TESISTA: FIORELA SOLANGE SALAZAR PRETELL

ASESOR: M. en I. HECTOR PÉREZ LOAYZA

CARACTERÍSTICA	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	TRAQUITA
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4"		
P. E MASA	2.56 gr/cm ³	2.42 gr/cm ³	1.71
PESO UNITARIO SUELTO	1452.92 Kg/m ³	1397.78 Kg/m ³	
PESO UNITARIO COMPACTADO	1608.34 Kg/m ³	1514.44 Kg/m ³	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	3.00 %	1.5 %	
ABSORCION (%)	1.51 %	1.37 %	16.64%
MODULO DE FINURA	3.47	7.12	
ABRASION (%)	-	27.5 %	
PORCENTAJE PASA MALLA N° 200	-	1.34 %	

1° CON LA TABLA N°2 TMN= 3/4" SLUM= 3"-4" Adit Red= 8%
 H2O= 205 Lts AIRE= 2 %
 H2O= 188.6

2° HALLAMOS EL F'CR USANDO:

F'CR = 1.2 F'C
 F'CR = 420 Kg/cm²
 F'CR = 1.1 x 420 + 50
 F'CR = 504 Kg/cm²

3° HALLAMOS EL FACTOR CEMENTO

Factor Cemento= $\frac{H2O}{A/C}$
 Relación H2O-Cemento= A/C= 0.44
 Factor Cemento= $\frac{188.6}{0.44} = \frac{428.636364}{42.5} = 10.09$ bol/m³

4° HALLAMOS EL ADITIVO POR M3

ADT= 10.09 X 252.5
 ADT= 2.55 Lts

5° CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA PASTA

Cemento: 0.1374
 H2O: 0.1886
 Aditivo: 0.0023
 Aire: 0.02
0.3483 m³

6° CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LOS AGREGADOS

$$V_{ag} = 0.6517 \text{ m}^3$$

7° CÁLCULO DEL MÓDULO DE FINURA

10	↔	5.26	Hallamos el valor de mc	
10.09	↔	mc	mc =	5.267
11	↔	5.34		

$$mc = r_f \times m_f + r_g \times m_g; \quad r_f + r_g = 1$$
$$5.267 = r_f \times 3.47 + r_g \times 7.12$$
$$r_f = 50.77\% \quad r_g = 49.23\%$$

8° CÁLCULO DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

Af=	0.6517	x	0.5077	=	0.3308	m ³
Ag=	0.6517	x	0.4923	=	0.3209	m ³

9° CÁLCULO DEL PESO ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

Af=	0.3308	x	2560	=	846.85	kg
Ag=	0.3209	x	2420	=	776.58	kg

Como la mezcla es sobrearenosa

Peso Ag=	776.58	x	1.1	=	854.24	kg
Vol Ag=	854.24	/	2420	=	0.353	m ³
Vol Af=	0.6517	-	0.353	=	0.2987	m ³
Peso Af=	0.2987	x	2560	=	764.67	kg

10° % DE TRAQUITA EN EL AGREGADO GRUESO

% Traquita=	7%		
vol traquita=	0.0247 m ³	Peso tra=	42.2541 kg
Vol Ag=	0.3283 m ³	Peso Ag=	794.462 kg

CORRECCIÓN POR HÚMEDAD

CEMENTO=	428.64 kg
H ₂ O=	174.97 lts
ADITIVO=	2.55 lts
Af=	787.61 kg
Ag=	806.38 kg
Traquita=	42.2541 kg

C. DISEÑO 3: Diseño de mezcla en el cual se coloca el 12% de traquita en el volumen del Agregado Grueso.

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

TESIS : "CONCRETO AUTOCURABLE DE ALTA RESISTENCIA $F'c=420$ Kg/Cm², CON UN PORCENTAJE DE TRAQUITA EN EL AGREGADO GRUESO COMPARADO CON LOS PROCESOS MAS USADOS DE CURADO "

TIPO DE MEZCLA: MEZCLA PATRÓN + TRAQUITA AL 12%

TESISTA: FIORELA SOLANGE SALAZAR PRETELL

ASESOR: M. en I. HECTOR PÉREZ LOAYZA

CARACTERÍSTICA	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	TRAQUITA
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4"		
P. E MASA	2.56 gr/cm ³	2.42 gr/cm ³	1.71
PESO UNITARIO SUELTO	1452.92 Kg/m ³	1397.78 Kg/m ³	
PESO UNITARIO COMPACTADO	1608.34 Kg/m ³	1514.44 Kg/m ³	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	3.00 %	1.5 %	
ABSORCION (%)	1.51 %	1.37 %	16.64%
MODULO DE FINURA	3.47	7.12	
ABRASION (%)	-	27.5 %	
PORCENTAJE PASA MALLA N° 200	-	1.34 %	

1° CON LA TABLA N°2 TMN= 3/4" SLUM= 3"-4" Adit Red= 8%
 H2O= 205 Lts AIRE= 2 %
 H2O= 188.6

2° HALLAMOS EL F'CR USANDO:

$F'CR = 1.2 F'C$
 $F'CR = 420$ Kg/cm²
 $F'CR = 1.1 \times 420 + 50$
 $F'CR = 504$ Kg/cm²

3° HALLAMOS EL FACTOR CEMENTO

Factor Cemento= $\frac{H2O}{A/C}$
 Relación H2O-Cemento= A/C= 0.44
 Factor Cemento= $\frac{188.6}{0.44} = \frac{428.636364}{42.5} = 10.09$ bol/m³

4° HALLAMOS EL ADITIVO POR M3

ADT= 10.09 X 252.5
 ADT= 2.55 Lts

5° CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA PASTA

Cemento: 0.1374
 H2O: 0.1886
 Aditivo: 0.0023
 Aire: 0.02
0.3483 m³

$$V_{ag} = 0.6517 \text{ m}^3$$

7° CÁLCULO DEL MÓDULO DE FINURA

10	↔	5.26	Hallamos el valor de mc
10.09	↔	mc	mc = 5.267
11	↔	5.34	

$$mc = r_f \times m_f + r_g \times m_g; \quad r_f + r_g = 1$$

$$5.267 = r_f \times 3.47 + r_g \times 7.12$$

$$r_f = 50.77\% \quad r_g = 49.23\%$$

8° CÁLCULO DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

A _f =	0.6517	x	0.5077	=	0.3308	m ³
Ag=	0.6517	x	0.4923	=	0.3209	m ³

9° CÁLCULO DEL PESO ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

A _f =	0.3308	x	2560	=	846.85	kg
Ag=	0.3209	x	2420	=	776.58	kg

Como la mezcla es sobrearenosa

Peso Ag=	776.58	x	1.1	=	854.24	kg
Vol Ag=	854.24	/	2420	=	0.353	m ³
Vol A _f =	0.6517	-	0.353	=	0.2987	m ³
Peso A _f =	0.2987	x	2560	=	764.67	kg

10° % DE TRAQUITA EN EL AGREGADO GRUESO

% Traquita=	12%	Peso tra=	72.4356 kg
vol traquita=	0.0424 m ³	Peso Ag=	751.749 kg
Vol Ag=	0.3106 m ³		

CORRECCIÓN POR HÚMEDAD

CEMENTO=	428.64 kg
H ₂ O=	174.97 lts
ADITIVO=	2.55 lts
A _f =	787.61 kg
Ag=	763.03 kg
Traquita=	72.44 kg

D. DISEÑO 4: Diseño de mezcla en el cual se coloca el 17% de traquita en el volumen del Agregado Grueso.

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

TESIS : "CONCRETO AUTOCURABLE DE ALTA RESISTENCIA F'c=420 Kg/Cm2, CON UN PORCENTAJE DE TRAQUITA EN EL AGREGADO GRUESO COMPARADO CON LOS PROCESOS MAS USADOS DE CURADO "

TIPO DE MEZCLA: MEZCLA PATRÓN + TRAQUITA AL 17%

TESISTA: FIORELA SOLANGE SALAZAR PRETELL

ASESOR: M. en I. HECTOR PÉREZ LOAYZA

CARACTERÍSTICA	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	TRAQUITA
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/4"		
P. E MASA	2.56 gr/cm ³	2.42 gr/cm ³	1.71
PESO UNITARIO SUELTO	1452.92 Kg/m ³	1397.78 Kg/m ³	
PESO UNITARIO COMPACTADO	1608.34 Kg/m ³	1514.44 Kg/m ³	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	3.00 %	1.5 %	
ABSORCION (%)	1.51 %	1.37 %	16.64%
MODULO DE FINURA	3.47	7.12	
ABRASION (%)	-	27.5 %	
PORCENTAJE PASA MALLA N° 200	-	1.34 %	

1° CON LA TABLA N°2 TMN= 3/4" SLUM= 3"-4" Adit Red= 8%
 H2O= 205 Lts AIRE= 2 %
 H2O= 188.6

2° HALLAMOS EL F'CR USANDO:

F'CR = 1.2 F'C
 F'CR = 420 Kg/cm²
 F'CR = 1.1 x 420 + 50
 F'CR = 504 Kg/cm²

3° HALLAMOS EL FACTOR CEMENTO

Factor Cemento= $\frac{H2O}{A/C}$
 Relación H2O-Cemento= A/C= 0.44
 Factor Cemento= $\frac{188.6}{0.44} = \frac{428.636364}{42.5} = 10.09$ bol/m³

4° HALLAMOS EL ADITIVO POR M3

ADT= 10.09 X 252.5
 ADT= 2.55 Lts

5° CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA PASTA

Cemento: 0.1374
 H2O: 0.1886
 Aditivo: 0.0023
 Aire: 0.02
0.3483 m³

6° CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LOS AGREGADOS

$$V_{ag} = 0.6517 \text{ m}^3$$

7° CÁLCULO DEL MÓDULO DE FINURA

10	↔	5.26	Hallamos el valor de mc
10.09	↔	mc	mc = 5.267
11	↔	5.34	

$$mc = r_f \times m_f + r_g \times m_g; \quad r_f + r_g = 1$$
$$5.267 = r_f \times 3.47 + r_g \times 7.12$$
$$r_f = 50.77\% \quad r_g = 49.23\%$$

8° CÁLCULO DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

Af=	0.6517	x	0.5077	=	0.3308	m ³
Ag=	0.6517	x	0.4923	=	0.3209	m ³

9° CÁLCULO DEL PESO ABSOLUTO DE LOS AGREGADOS

Af=	0.3308	x	2560	=	846.85	kg
Ag=	0.3209	x	2420	=	776.58	kg

Como la mezcla es sobrearenosa

Peso Ag=	776.58	x	1.1	=	854.24	kg
Vol Ag=	854.24	/	2420	=	0.353	m ³
Vol Af=	0.6517	-	0.353	=	0.2987	m ³
Peso Af=	0.2987	x	2560	=	764.67	kg

10° % DE TRAQUITA EN EL AGREGADO GRUESO

% Traquita=	17%		
vol traquita=	0.0600 m ³	Peso tra=	102.617 kg
Vol Ag=	0.2930 m ³	Peso Ag=	709.036 kg

CORRECCIÓN POR HÚMEDAD

CEMENTO=	428.64 kg
H ₂ O=	174.97 lts
ADITIVO=	2.55 lts
Af=	787.61 kg
Ag=	719.67 kg
Traquita=	102.62 kg

ANEXO III: Cálculos y resultados de los ensayos de peso unitario del concreto fresco.

a. **Peso unitario del concreto fresco de mezcla patrón.**

PESO UNITARIO DEL CONCRETO

TESIS : “CONCRETO AUTOCURABLE DE ALTA RESISTENCIA $F'c=420$ Kg/Cm², CON UN PORCENTAJE DE TRAQUITA EN EL AGREGADO GRUESO COMPARADO CON LOS PROCESOS MAS USADOS DE CURADO ”

TIPO DE MEZCLA: MEZCLA PATRÓN

TESISTA: FIORELA SOLANGE SALAZAR PRETELL

ASESOR: M. en I. HECTOR PÉREZ LOAYZA

ESPECIMEN	Ø (cm)	H (cm)	VOL (m ³)	PESO R(kg)	PESO R+C°(kg)	PESO C°(kg)	PESO UNITARIO(kg/m ³)
P-1	14.95	29.90	0.00525	7.31	19.99	12.68	2415.88
P-2	15.05	30.1	0.00535	8.64	21.40	12.76	2382.98
P-3	15	30.05	0.00531	7.31	19.93	12.62	2376.53
P-4	15.10	30.15	0.0054	11.75	24.72	12.97	2402.20
P-5	15.03	30.35	0.00538	8.66	21.4	12.74	2365.94
P-6	15.00	30.00	0.0053	8.68	21.27	12.59	2374.83
P-7	14.95	29.95	0.00526	8.61	21.17	12.56	2389.02
P-8	15.05	30.13	0.00536	8.66	21.5	12.84	2395.54
P-9	15.00	30.05	0.00531	8.73	21.37	12.64	2380.29
P-10	15.1	30.10	0.00539	8.59	21.08	12.49	2317.14
P-11	15.03	29.95	0.00531	8.61	21.21	12.60	2371.19
P-12	15	30.15	0.00533	8.53	21.07	12.54	2353.63
P-13	14.95	29.80	0.00523	7.26	20.04	12.78	2443.11
P-14	15.05	29.9	0.00532	7.10	19.86	12.76	2398.92
P-15	15	30.05	0.00531	7.26	19.91	12.65	2382.17
P-16	15.10	29.98	0.00537	8.63	21.02	12.39	2307.79
P-17	15.03	30.10	0.00534	8.14	20.71	12.57	2353.75
P-18	15.05	30.05	0.00535	8.63	21.22	12.59	2355.15
PROMEDIO							2375.89

Tabla 54. Peso unitario del concreto fresco –mezcla patrón.

- b. Peso unitario del concreto fresco de mezcla en el cual se coloca el 7% de traquita en el volumen del Agregado Grueso.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO

TESIS : "CONCRETO AUTOCURABLE DE ALTA RESISTENCIA $F'c=420$ Kg/Cm², CON UN PORCENTAJE DE TRAQUITA EN EL AGREGADO GRUESO COMPARADO CON LOS PROCESOS MAS USADOS DE CURADO "

TIPO DE MEZCLA: MEZCLA PATRÓN + TRAQUITA 7%

TESISTA: FIORELA SOLANGE SALAZAR PRETELL

ASESOR: M. en I. HECTOR PÉREZ LOAYZA

ESPECIMEN	Ø (cm)	H (cm)	VOL (m ³)	PESO R(kg)	PESO R+C°(kg)	PESO C°(kg)	PESO UNITARIO(kg/m ³)
P-1	15.00	30.25	0.00535	8.63	21.15	12.52	2342.11
P-2	14.95	30.05	0.00527	8.54	21.06	12.52	2373.49
P-3	15.03	29.98	0.00532	8.67	21.2	12.53	2355.65
P-4	14.97	30.10	0.0053	8.61	21.2	12.59	2376.43
P-5	14.99	30.25	0.00534	8.61	21.07	12.46	2333.99
P-6	14.97	30.10	0.0053	8.64	21.14	12.5	2359.45
P-7	15.1	29.95	0.00536	7.32	20.01	12.69	2366.03
P-8	14.95	30.15	0.00529	7.1	19.91	12.81	2420.41
P-9	15.05	30.05	0.00535	7.26	19.87	12.61	2358.89
P-10	14.9	30.10	0.00525	7.27	19.87	12.6	2400.72
P-11	14.96	30.3	0.00533	7.32	20.08	12.76	2395.82
P-12	15.03	30.13	0.00535	7.27	19.95	12.68	2371.99
P-13	15.02	30.05	0.00532	8.14	20.71	12.57	2360.81
P-14	14.97	30.20	0.00532	8.64	21.26	12.62	2374.21
P-15	15	30.15	0.00533	8.56	21.13	12.57	2359.26
P-16	14.95	30.25	0.00531	8.6	21.29	12.69	2389.81
P-17	14.90	30.15	0.00526	8.61	21.24	12.63	2402.45
P-18	15.01	30.35	0.00537	8.61	21.2	12.59	2344.31
PROMEDIO							2371.44

Tabla 55. Peso unitario del concreto fresco –mezcla patrón+7% de traquita.

- c. Peso unitario del concreto fresco de mezcla en el cual se coloca el 12% de traquita en el volumen del Agregado Grueso.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO

TESIS : "CONCRETO AUTOCURABLE DE ALTA RESISTENCIA $F'c=420$ Kg/Cm², CON UN PORCENTAJE DE TRAQUITA EN EL AGREGADO GRUESO COMPARADO CON LOS PROCESOS MAS USADOS DE CURADO "

TIPO DE MEZCLA: MEZCLA PATRÓN + TRAQUITA 12%

TESISTA: FIORELA SOLANGE SALAZAR PRETELL

ASESOR: M. en I. HECTOR PÉREZ LOAYZA

ESPECIMEN	Ø (cm)	H (cm)	VOL (m ³)	PESO R(kg)	PESO R+C°(kg)	PESO C°(kg)	PESO UNITARIO(kg/m ³)
P-1	14.90	30.1	0.00525	7.32	19.9	12.58	2396.91
P-2	14.95	30.05	0.00527	7.10	19.79	12.69	2405.72
P-3	15.03	29.98	0.00532	7.26	19.7	12.44	2338.73
P-4	14.93	30.10	0.00527	7.27	19.81	12.54	2379.70
P-5	14.99	30.05	0.0053	7.32	19.88	12.56	2368.38
P-6	15.05	29.90	0.00532	7.27	19.93	12.66	2380.12
P-7	15.03	29.95	0.00531	8.67	21.13	12.46	2344.84
P-8	14.89	30.15	0.00525	8.63	21.2	12.57	2394.25
P-9	14.95	30.05	0.00527	8.63	21.11	12.48	2365.91
P-10	15.07	30.10	0.00537	8.61	21.15	12.54	2335.69
P-11	14.94	29.95	0.00525	8.14	20.61	12.47	2375.08
P-12	15.00	30.13	0.00532	8.60	21.03	12.43	2334.53
P-13	15.00	30.05	0.00531	8.58	21.08	12.5	2353.93
P-14	15.05	30.20	0.00537	8.61	21.16	12.55	2336.01
P-15	14.97	30.1	0.0053	8.60	21.1	12.5	2359.45
P-16	14.90	30.25	0.00527	8.61	21.12	12.51	2371.75
P-17	14.95	30.15	0.00529	8.65	21.17	12.52	2365.62
P-18	15.10	30.35	0.00544	8.53	21.02	12.49	2298.05
PROMEDIO							2361.37

Tabla 56. Peso unitario del concreto fresco –mezcla patrón+12% de traquita.

- d. Peso unitario del concreto fresco de mezcla en el cual se coloca el 17% de traquita en el volumen del Agregado Grueso.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO

TESIS : "CONCRETO AUTOCURABLE DE ALTA RESISTENCIA $F'c=420$ Kg/Cm², CON UN PORCENTAJE DE TRAQUITA EN EL AGREGADO GRUESO COMPARADO CON LOS PROCESOS MAS USADOS DE CURADO "

TIPO DE MEZCLA: MEZCLA PATRÓN + TRAQUITA 17%

TESISTA: FIORELA SOLANGE SALAZAR PRETELL

ASESOR: M. en I. HECTOR PÉREZ LOAYZA

ESPECIMEN	Ø (cm)	H (cm)	VOL (m ³)	PESO R(kg)	PESO R+C°(kg)	PESO C°(kg)	PESO UNITARIO(kg/m ³)
P-1	15.04	30.2	0.00537	8.67	21.12	12.45	2320.47
P-2	14.97	30.05	0.00529	8.63	21.16	12.53	2369.04
P-3	15.03	30.00	0.00532	8.63	21.05	12.42	2333.42
P-4	14.91	29.90	0.00522	8.61	21.13	12.52	2398.21
P-5	15.01	30.05	0.00532	8.14	21.12	12.98	2441.06
P-6	14.95	29.90	0.00525	8.6	20.63	12.03	2292.04
P-7	15.01	29.95	0.0053	8.66	21.13	12.47	2352.98
P-8	14.95	30.15	0.00529	8.65	21.16	12.51	2363.73
P-9	15.03	30.05	0.00533	8.53	20.99	12.46	2337.04
P-10	14.97	30.10	0.0053	8.67	21.06	12.39	2338.68
P-11	15.01	29.95	0.0053	8.63	21.1	12.47	2352.98
P-12	14.97	30.13	0.0053	8.63	21.05	12.42	2342.01
P-13	14.90	30.05	0.00524	8.61	21.06	12.45	2376.09
P-14	14.95	30.20	0.0053	8.14	21.06	12.92	2437.16
P-15	15.05	30.1	0.00535	8.60	20.62	12.02	2244.79
P-16	14.97	30.15	0.00531	8.6	21.05	12.45	2346.11
P-17	15.01	30.15	0.00534	8.65	21.2	12.55	2352.37
P-18	14.97	30.35	0.00534	8.53	20.93	12.4	2321.29
PROMEDIO							2351.08

Tabla 57. Peso unitario del concreto fresco –mezcla patrón+17% de traquita.

ANEXO IV: Cálculos y resultados de la humedad del concreto a diferentes curados.

1. Humedad del concreto a diferentes curados a la edad de 7 días.

CURADO: INMERSIÓN

ENSAYO N°	1	2	3
PROBETA HUMEDA. (Kg)	12.25	12.32	12.50
PROBETA SECA. (Kg)	11.60	11.67	11.85
PESO DEL AGUA (Kg)	0.65	0.65	0.65
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	5.603	5.527	5.485
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =			5.54

Tabla 58. Humedad del concreto a 7 días –curado inmersión.

CURADO: SIKA SEM CURADOR

ENSAYO N°	1	2	3
PROBETA HUMEDA. (Kg)	12.75	12.69	12.60
PROBETA SECA. (Kg)	12.25	12.20	12.11
PESO DEL AGUA (Kg)	0.50	0.49	0.49
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	4.082	4.016	4.046
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =			4.05

Tabla 59. Humedad del concreto a 7 días –curado sika sem curador.

CURADO: TRAQUITA 7%

ENSAYO N°	1	2	3
PROBETA HUMEDA. (Kg)	12.85	12.60	12.90
PROBETA SECA. (Kg)	12.32	12.10	12.35
PESO DEL AGUA (Kg)	0.53	0.50	0.55
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	4.302	4.132	4.453
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =			4.30

Tabla 60. Humedad del concreto a 7 días –curado: traquita 7%.

CURADO: TRAQUITA 12%

ENSAYO N°	1	2	3
PROBETA HUMEDA. (Kg)	12.59	12.65	12.50
PROBETA SECA. (Kg)	11.85	11.93	11.80
PESO DEL AGUA (Kg)	0.74	0.72	0.70
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.238	6.035	5.932
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =			6.07

Tabla 61. Humedad del concreto a 7 días –curado: traquita 12%.

CURADO: TRAQUITA 17%

ENSAYO N°	1	2	3
PROBETA HUMEDA. (Kg)	12.70	12.60	12.75
PROBETA SECA. (Kg)	11.86	11.78	11.91
PESO DEL AGUA (Kg)	0.84	0.82	0.84
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	7.083	6.961	7.053
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =	7.03		

Tabla 62. Humedad del concreto a 7 días –curado: traquita 17%.

2. Humedad del concreto a diferentes curados a la edad de 14 días.

CURADO: INMERSIÓN

ENSAYO N°	1	2	3
PROBETA HUMEDA. (Kg)	12.55	12.60	12.50
PROBETA SECA. (Kg)	11.80	11.85	11.75
PESO DEL AGUA (Kg)	0.75	0.75	0.75
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.356	6.329	6.383
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =	6.36		

Tabla 63. Humedad del concreto a 14 días –curado inmersión.

CURADO: SIKA SEM CURADOR

ENSAYO N°	1	2	3
PROBETA HUMEDA. (Kg)	12.42	12.49	12.44
PROBETA SECA. (Kg)	12.10	12.18	12.12
PESO DEL AGUA (Kg)	0.32	0.31	0.32
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	2.645	2.545	2.640
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =	2.61		

Tabla 64. Humedad del concreto a 14 días –curado sika sem curador.

CURADO: TRAQUITA 7%

ENSAYO N°	1	2	3
PROBETA HUMEDA. (Kg)	12.77	12.45	12.55
PROBETA SECA. (Kg)	12.29	12.01	12.07
PESO DEL AGUA (Kg)	0.48	0.44	0.48
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	3.907	3.664	3.977
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =	3.85		

Tabla 65. Humedad del concreto a 14 días –curado: traquita 7%.

CURADO: TRAQUITA 12%

ENSAYO N°	1	2	3
PROBETA HUMEDA. (Kg)	12.13	12.20	12.17
PROBETA SECA. (Kg)	11.54	11.62	11.59
PESO DEL AGUA (Kg)	0.59	0.58	0.58
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	5.087	4.991	5.004
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =			5.03

Tabla 66. Humedad del concreto a 14 días –curado: traquita 12%.

CURADO: TRAQUITA 17%

ENSAYO N°	1	2	3
PROBETA HUMEDA. (Kg)	12.57	12.63	12.52
PROBETA SECA. (Kg)	11.85	11.91	11.82
PESO DEL AGUA (Kg)	0.72	0.72	0.70
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.059	6.045	5.922
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =			6.01

Tabla 67. Humedad del concreto a 14 días –curado: traquita 17%.

3. Humedad del concreto a diferentes curados a la edad de 28 días.

CURADO: INMERSIÓN

ENSAYO N°	1	2	3
PROBETA HUMEDA. (Kg)	12.14	12.31	12.20
PROBETA SECA. (Kg)	11.32	11.50	11.35
PESO DEL AGUA (Kg)	0.82	0.81	0.85
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	7.270	7.043	7.489
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =			7.27

Tabla 68. Humedad del concreto a 28 días –curado inmersión.

CURADO: SIKA SEM CURADOR

ENSAYO N°	1	2	3
PROBETA HUMEDA. (Kg)	12.31	12.45	12.37
PROBETA SECA. (Kg)	12.08	12.22	12.15
PESO DEL AGUA (Kg)	0.23	0.23	0.22
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.904	1.882	1.811
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =			1.87

Tabla 69. Humedad del concreto a 28 días –curado sika sem curador.

CURADO: TRAQUITA 7%

ENSAYO N°	1	2	3
PROBETA HUMEDA. (Kg)	12.52	12.51	12.48
PROBETA SECA. (Kg)	12.15	12.14	12.11
PESO DEL AGUA (Kg)	0.37	0.37	0.37
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	3.037	3.048	3.055
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =			3.05

Tabla 70. Humedad del concreto a 28 días –curado: traquita 7%.

CURADO: TRAQUITA 12%

ENSAYO N°	1	2	3
PROBETA HUMEDA. (Kg)	12.13	12.20	12.05
PROBETA SECA. (Kg)	11.66	11.73	11.58
PESO DEL AGUA (Kg)	0.47	0.47	0.47
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	4.005	4.007	4.059
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =			4.02

Tabla 71. Humedad del concreto a 28 días –curado: traquita 12%.

CURADO: TRAQUITA 17%

ENSAYO N°	1	2	3
PROBETA HUMEDA. (Kg)	12.40	12.23	12.34
PROBETA SECA. (Kg)	11.81	11.64	11.75
PESO DEL AGUA (Kg)	0.59	0.59	0.59
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	4.996	5.069	5.021
PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) =			5.03

Tabla 72. Humedad del concreto a 14 días –curado: traquita 17%.

ANEXO V: Cálculos y resultados de los ensayos de la resistencia a compresión del concreto a diferentes curados.

1. Ensayos de la resistencia a compresión del concreto a diferentes curados a la edad de 7 días.

CURADO: INMERCIÓN

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Tn)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA(cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	TIPO DE FALLA	% DEL FC
1	PI-1	13/07/2017	7	68.5	14.95	175.54	390.23	5	92.91%
2	PI-2	13/07/2017	7	67.5	15.05	177.89	379.44	5	90.34%
3	PI-3	13/07/2017	7	69.0	15.0	176.71	390.46	6	92.97%
PROMEDIO:							386.71		92.07%

Tabla 73. Resistencia a compresión a 7 días –curado: inmersión.

CURADO: SIKASEM CURADOR

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Tn)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA(cm)	RESISTENCIA MÁXIMA(Kg/cm2)	TIPO DE FALLA	% DEL FC
1	PC-1	13/07/2017	7	53.0	15.1	179.08	295.96	3	70.47%
2	PC-2	13/07/2017	7	51.0	15.03	177.42	287.45	3	68.44%
3	PC-3	13/07/2017	7	50.5	15.0	176.71	285.77	2	68.04%
PROMEDIO:							289.73		68.98%

Tabla 74. Resistencia a compresión a 7 días –curado: sika sem curador.

CURADO: TRAQUITA 7%

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Tn)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA(cm)	RESISTENCIA MÁXIMA(Kg/cm2)	TIPO DE FALLA	% DEL FC
1	MTA-1	16/07/2017	7	53.0	15.00	176.71	299.92	5	71.41%
2	MTA-2	16/07/2017	7	54.5	14.95	175.54	310.47	6	73.92%
3	MTA-3	16/07/2017	7	55.0	15.03	177.42	310.00	5	73.81%
4	MTA-4	16/07/2017	7	56.0	14.97	176.01	318.17	5	75.75%
5	MTA-5	16/07/2017	7	51.5	14.99	176.48	291.82	5	69.48%
6	MTA-6	16/07/2017	7	54.0	14.97	176.01	306.80	6	73.05%
PROMEDIO:							305.60		72.76%

Tabla 75. Resistencia a compresión a 7 días – curado: traquita 7%.

CURADO: TRAQUITA 12%

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Tn)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA(cm)	RESISTENCIA MÁXIMA(Kg/cm2)	TIPO DE FALLA	% DEL FC
1	MTB-1	17/07/2017	7	66.0	14.9	174.37	378.51	5	90.12%
2	MTB-2	17/07/2017	7	58.5	15.0	175.54	333.26	5	79.35%
3	MTB-3	17/07/2017	7	65.0	15.03	177.42	366.36	5	87.23%
4	MTB-4	17/07/2017	7	63.5	14.93	175.07	362.71	5	86.36%
5	MTB-5	17/07/2017	7	57.5	14.99	176.48	325.82	5	77.58%
6	MTB-6	17/07/2017	7	64.5	15.05	177.89	362.57	5	86.33%
PROMEDIO:							350.37		83.42%

Tabla 76. Resistencia a compresión a 7 días – curado: traquita 12%.

CURADO: TRAQUITA 17%

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Tn)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA(cm)	RESISTENCIA MÁXIMA(Kg/cm2)	TIPO DE FALLA	% DEL FC
1	MTC-1	18/07/2017	7	58.5	15.04	177.66	329.28	2	78.40%
2	MTC-2	18/07/2017	7	57.0	14.97	176.01	323.85	5	77.11%
3	MTC-3	18/07/2017	7	60.0	15.03	177.42	338.18	6	80.52%
4	MTC-4	18/07/2017	7	60.5	14.91	174.60	346.51	5	82.50%
5	MTC-5	18/07/2017	7	57.5	15.01	176.95	324.95	5	77.37%
6	MTC-6	18/07/2017	7	55.5	14.95	175.54	316.17	6	75.28%
PROMEDIO:							329.21		78.38%

Tabla 77. Resistencia a compresión a 7 días – curado: traquita 17%.

2. Ensayos de la resistencia a compresión del concreto a diferentes curados a la edad de 14 días.

CURADO: INMERCIÓN

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Tn)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA(cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm2)	TIPO DE FALLA	% DEL FC
1	PI-4	20/07/2017	14	71.5	14.95	175.54	407.32	6	96.98%
2	PI-5	20/07/2017	14	80.5	15.05	177.89	452.52	5	107.74%
3	PI-6	20/07/2017	14	79.0	15.0	176.71	447.05	6	106.44%
PROMEDIO:							435.63		103.72%

Tabla 78. Resistencia a compresión a 14 días –curado: inmersión.

CURADO: SIKA SEM CURADOR

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Tn)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA(cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm2)	TIPO DE FALLA	% DEL FC
1	PC-4	20/07/2017	14	59.5	15.1	179.08	332.26	6	79.11%
2	PC-5	20/07/2017	14	57.5	15.03	177.42	324.09	2	77.16%
3	PC-6	20/07/2017	14	55.5	15.0	176.71	314.07	5	74.78%
PROMEDIO:							323.47		77.02%

Tabla 79. Resistencia a compresión a 14 días –curado: sika sem curador.

CURADO: TRAQUITA 7%

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Tn)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA(cm)	RESISTENCIA MÁXIMA(Kg/c m ²)	TIPO DE FALLA	% DEL FC
1	MTA-7	23/07/2017	14	74.0	15.10	179.08	413.23	5	98.39%
2	MTA-8	23/07/2017	14	77.0	14.95	175.54	438.65	5	104.44%
3	MTA-9	23/07/2017	14	78.0	15.05	177.89	438.46	6	104.40%
4	MTA-10	23/07/2017	14	78.5	14.9	174.37	450.20	5	107.19%
5	MTA-11	23/07/2017	14	70.0	14.96	175.77	398.24	6	94.82%
6	MTA-12	23/07/2017	14	80.0	15.03	177.42	450.90	6	107.36%
PROMEDIO:							433.11		103.12%

Tabla 80. Resistencia a compresión a 14 días – curado: traquita 7%

CURADO: TRAQUITA 12%

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Tn)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA(cm)	RESISTENCIA MÁXIMA(Kg/c m ²)	TIPO DE FALLA	% DEL FC
1	MTB-7	24/07/2017	14	68.5	15.03	177.42	386.08	5	91.92%
2	MTB-8	24/07/2017	14	67.5	14.89	174.13	387.64	5	92.29%
3	MTB-9	24/07/2017	14	69.0	14.95	175.54	393.08	6	93.59%
4	MTB-10	24/07/2017	14	64.0	15.07	178.37	358.81	5	85.43%
5	MTB-11	24/07/2017	14	64.0	14.94	175.30	365.08	6	86.92%
6	MTB-12	24/07/2017	14	63.5	15.00	176.71	359.34	5	85.56%
PROMEDIO:							361.08		85.97%

Tabla 81. Resistencia a compresión a 14 días – curado: traquita 12%.

CURADO: TRAQUITA 17%

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Tn)	DIAMETRO (cm)	AREA(cm)	RESISTENCIA MÁXIMA(Kg/c m ²)	TIPO DE FALLA	% DEL FC
1	MTC-7	25/07/2017	14	70.0	15.01	176.95	395.59	5	94.19%
2	MTC-8	25/07/2017	14	64.0	14.95	175.54	364.59	6	86.81%
3	MTC-9	25/07/2017	14	59.5	15.03	177.42	335.36	2	79.85%
4	MTC-10	26/07/2017	14	61.5	14.97	176.01	349.42	5	83.19%
5	MTC-11	26/07/2017	14	65.5	15.01	176.95	370.16	2	88.13%
6	MTC-12	26/07/2017	14	65.8	14.97	176.01	373.85	5	89.01%
PROMEDIO:							364.47		86.78%

Tabla 82. Resistencia a compresión a 14 días – curado: traquita 17%.

3. Ensayos de la resistencia a compresión del concreto a diferentes curados a la edad de 28 días.

CURADO: INMERSIÓN

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Tn)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA(cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	TIPO DE FALLA	% DEL FC
1	PI-7	27/07/2017	28	83.5	14.95	175.54	475.68	5	113.26%
2	PI-8	27/07/2017	28	81.5	15.05	177.89	458.14	6	109.08%
3	PI-9	27/07/2017	28	82.5	15.0	176.71	466.85	5	111.16%
PROMEDIO:							466.89		111.16%

Tabla 83. Resistencia a compresión a 28 días –curado: inmersión.

CURADO: SIKA SEM CURADOR

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Tn)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA(cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm ²)	TIPO DE FALLA	% DEL FC
1	PC-7	27/07/2017	28	68.0	15.1	179.08	379.72	5	90.41%
2	PC-8	27/07/2017	28	67.0	15.03	177.42	377.63	2	89.91%
3	PC-9	27/07/2017	28	71.5	15.0	176.71	404.61	6	96.34%
PROMEDIO:							387.32		92.22%

Tabla 84. Resistencia a compresión a 28 días –curado: sika sem curador.

CURADO: TRAQUITA 7%

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Tn)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA(cm)	RESISTENCIA MÁXIMA(Kg/cm ²)	TIPO DE FALLA	% DEL FC
1	MTA-13	30/07/2017	28	75.5	15.02	177.19	426.11	5	101.45%
2	MTA-14	30/07/2017	28	83.5	14.97	176.01	474.41	5	112.95%
3	MTA-15	30/07/2017	28	90.0	15.00	176.71	509.30	5	121.26%
4	MTA-16	30/07/2017	28	87.0	14.95	175.54	495.62	5	118.00%
5	MTA-17	30/07/2017	28	72.5	14.90	174.37	415.79	5	99.00%
6	MTA-18	30/07/2017	28	89.0	15.01	176.95	502.97	6	119.75%
PROMEDIO:							471.46		112.25%

Tabla 85. Resistencia a compresión a 14 días – curado: traquita 7%

CURADO: TRAQUITA 12%

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Tn)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA(cm)	RESISTENCIA MÁXIMA(Kg/cm ²)	TIPO DE FALLA	% DEL FC
1	MTB-13	31/07/2017	28	70.0	15.00	176.71	396.12	5	94.31%
2	MTB-14	31/07/2017	28	69.5	15.05	177.89	390.68	6	93.02%
3	MTB-15	31/07/2017	28	65.0	14.97	176.01	369.30	6	87.93%
4	MTB-16	31/07/2017	28	72.0	14.9	174.37	412.92	2	98.32%
5	MTB-17	31/07/2017	28	82.0	14.95	175.54	467.13	6	111.22%
6	MTB-18	31/07/2017	28	73.0	15.1	179.08	407.64	2	97.06%
PROMEDIO:							429.23		102.20%

Tabla 86. Resistencia a compresión a 28 días – curado: traquita 12%.

CURADO: TRAQUITA 17%

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Tn)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA(cm)	RESISTENCIA MÁXIMA(Kg/cm ²)	TIPO DE FALLA	% DEL FC
1	MTC-13	02/08/2017	28	61.5	14.90	174.37	352.71	6	83.98%
2	MTC-14	02/08/2017	28	62.0	14.95	175.54	353.20	6	84.09%
3	MTC-15	02/08/2017	28	63.0	15.05	177.89	354.14	2	84.32%
4	MTC-16	02/08/2017	28	65.0	14.97	176.01	369.30	2	87.93%
5	MTC-17	02/08/2017	28	67.0	15.01	176.95	378.64	6	90.15%
6	MTC-18	02/08/2017	28	72.5	14.97	176.01	411.91	2	98.07%
PROMEDIO:							386.62		92.05%

Tabla 87. Resistencia a compresión a 28 días – curado: traquita 17%.

ANEXO VI: Cálculos y resultados de los ensayos de la resistencia a compresión – grafica esfuerzo / deformación.

A. Ensayo a compresión a un curado de inmersión – Grafica esfuerzo/deformación.

ENSAYO DE COMPRESIÓN- GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN

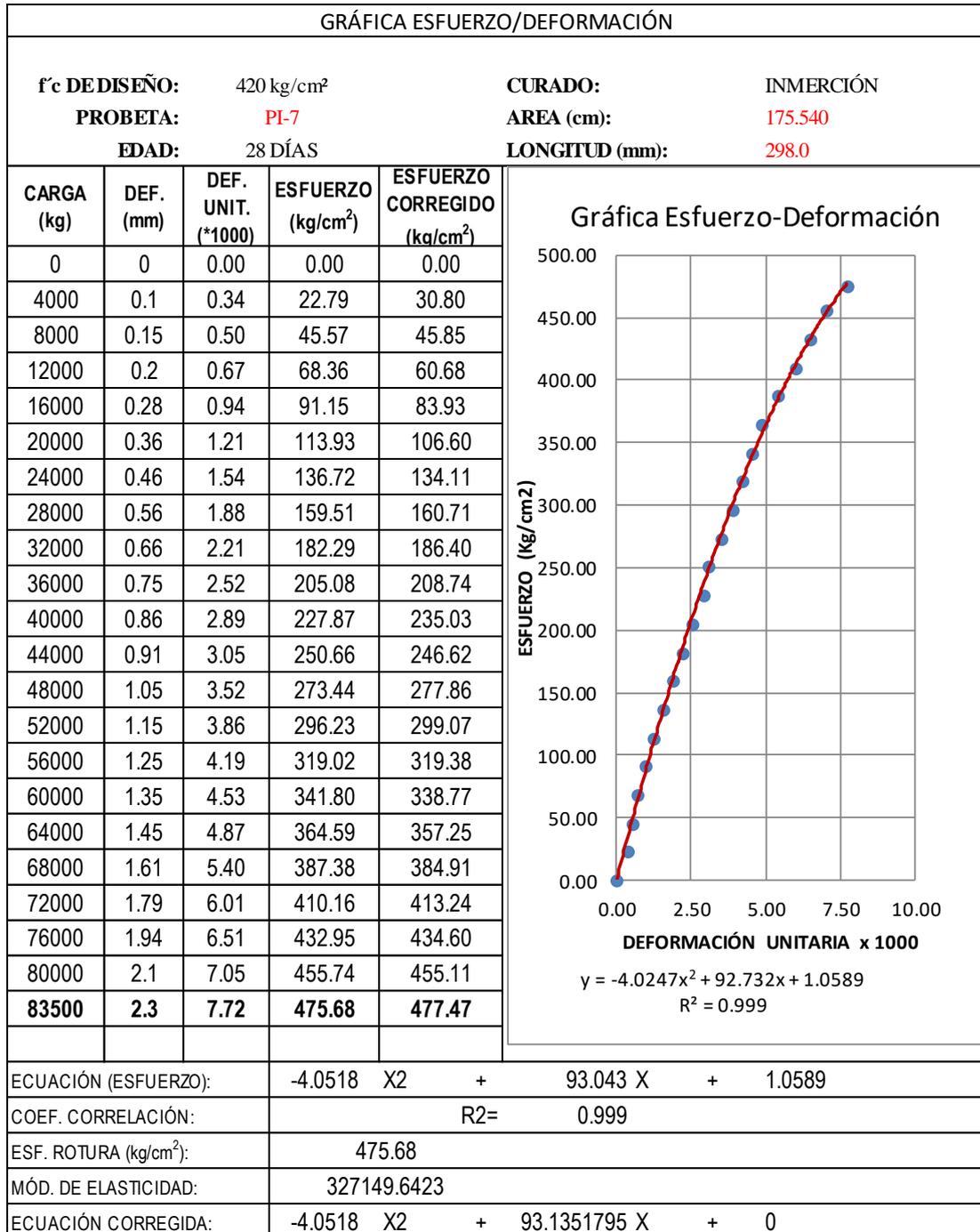


Tabla 88 . Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –curado: inmersión PI

ENSAYO DE COMPRESIÓN- GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN

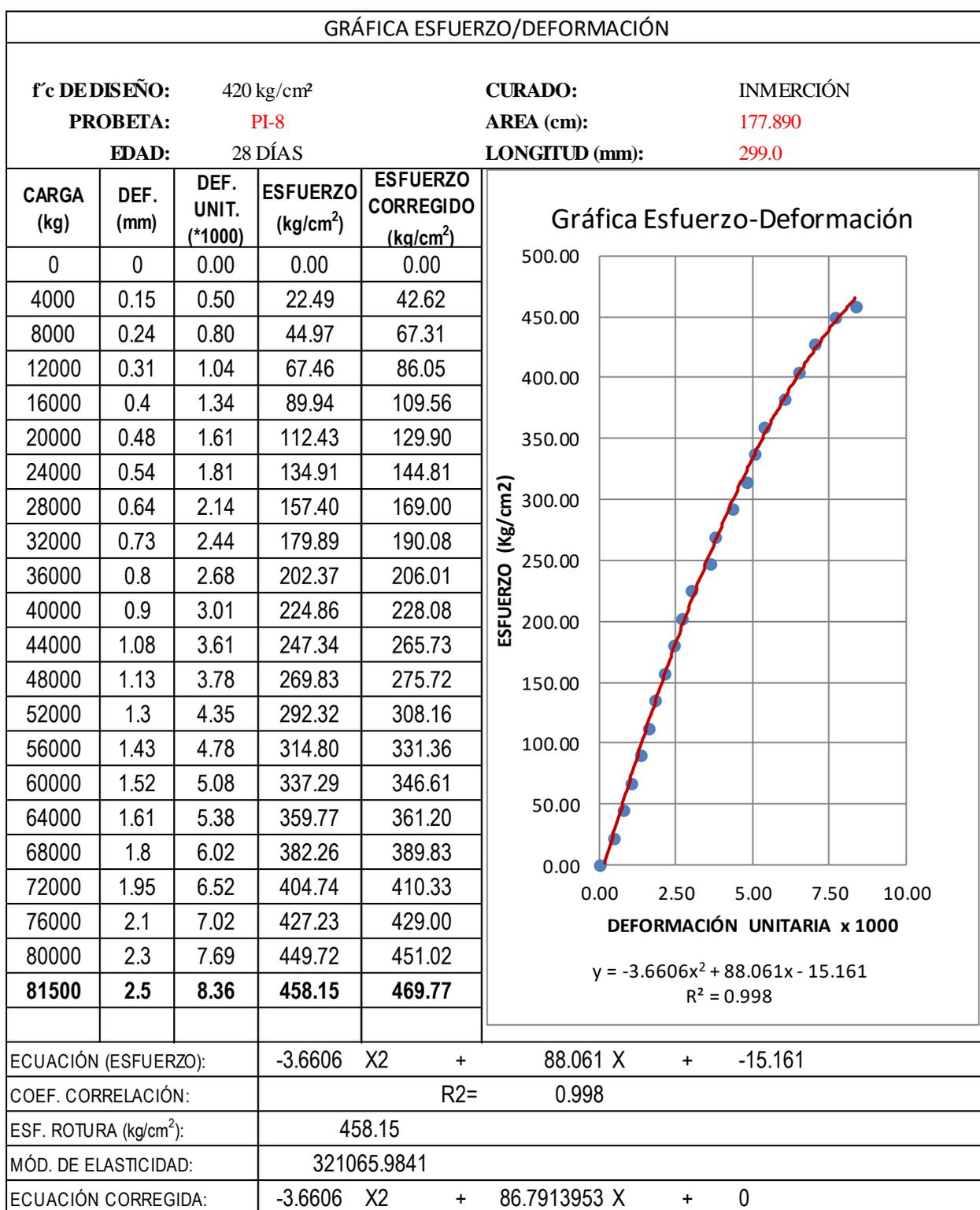


Tabla 89. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –curado: inmersión PI-8

ENSAYO DE COMPRESIÓN- GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN

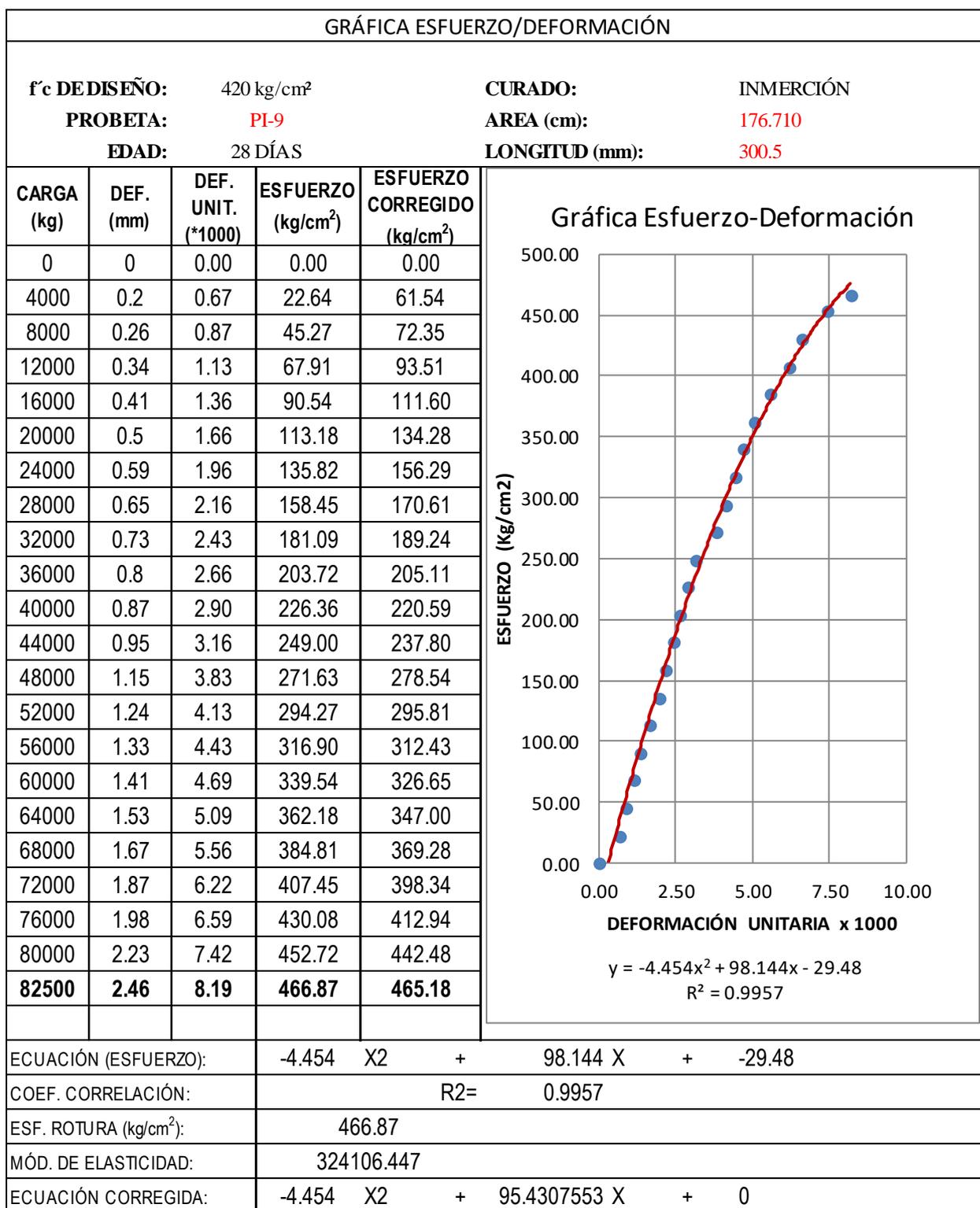


Tabla 90 . Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –curado: inmersión PI-9.

B. Ensayo a compresión a un curado Sika Sem Curador– Grafica esfuerzo/deformación.

ENSAYO DE COMPRESIÓN- GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN

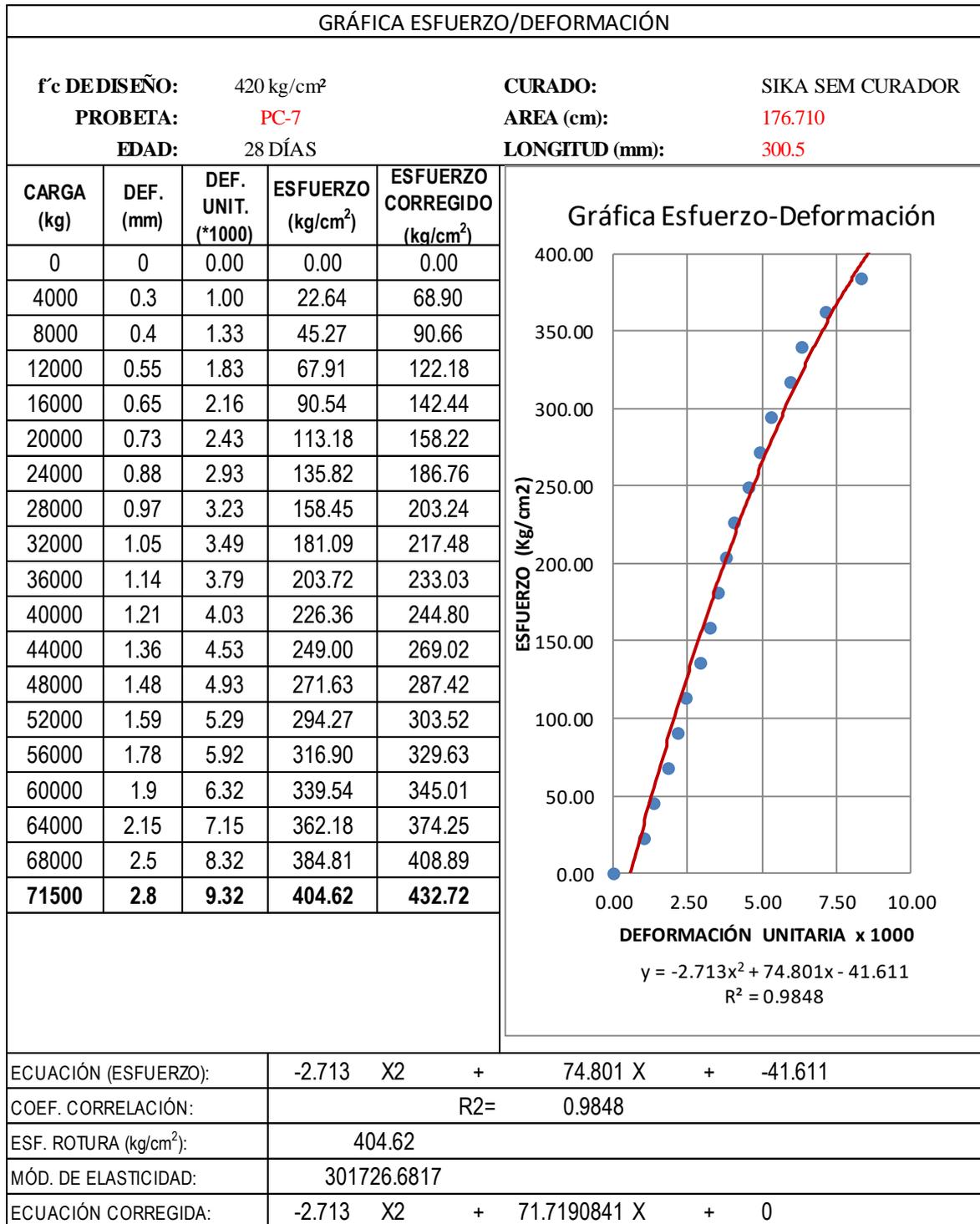


Tabla 91 . Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –curado: Sika Sem Curador PC-7.

ENSAYO DE COMPRESIÓN- GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN

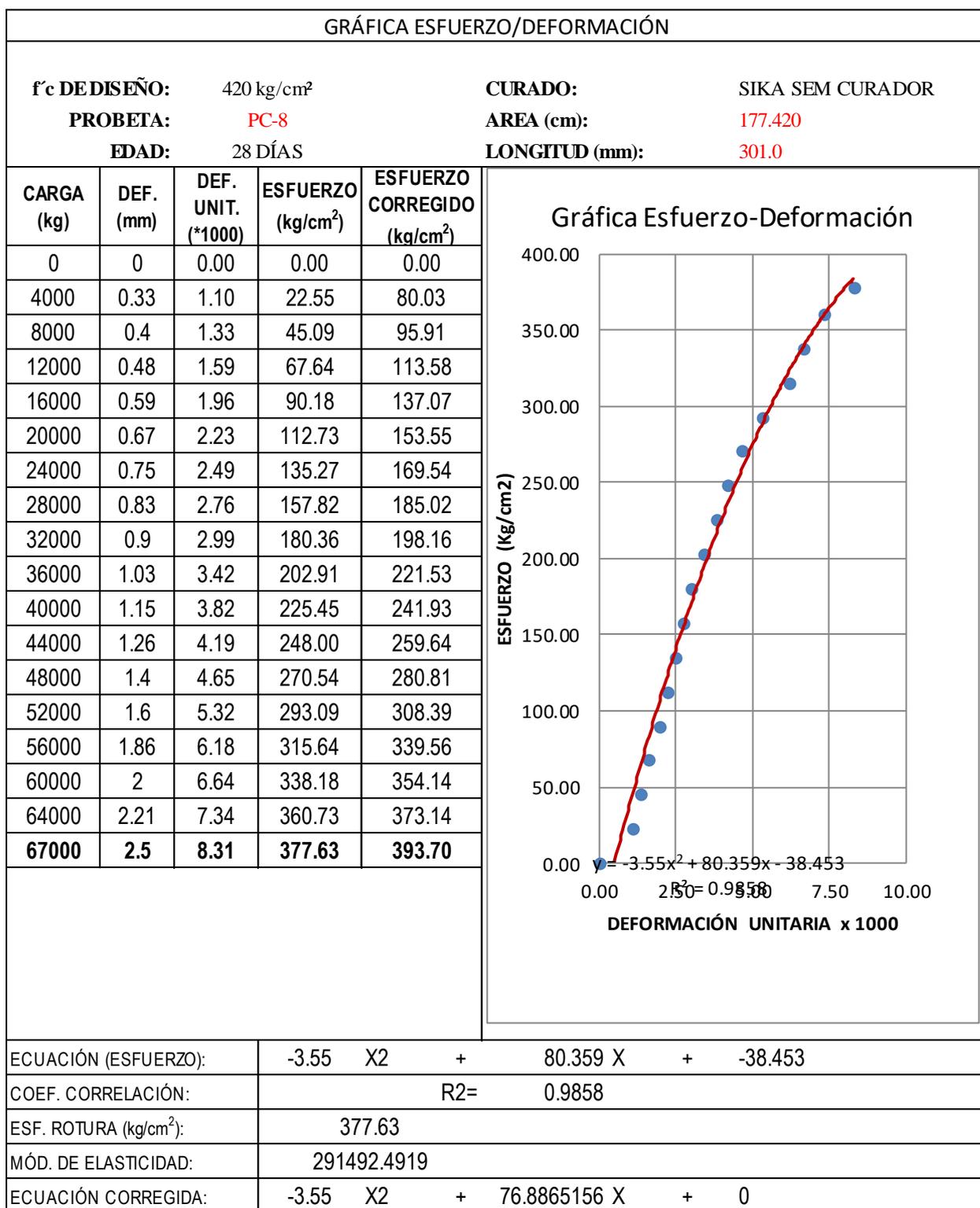


Tabla 92. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –curado: Sika Sem Curador PC-8.

ENSAYO DE COMPRESIÓN- GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN

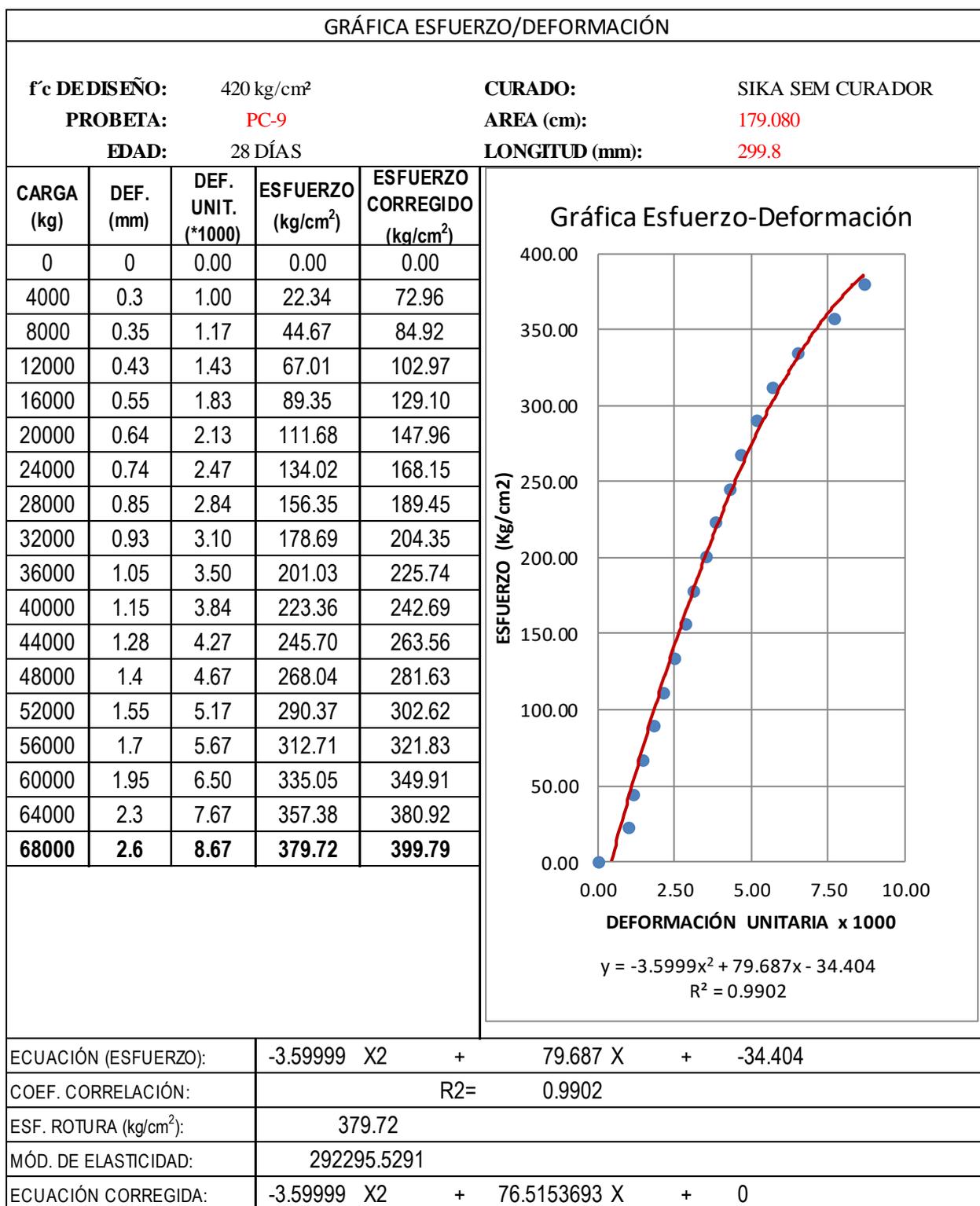


Tabla 93. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –curado: Sika Sem Curador PC-9.

C. Ensayo a compresión a un curado Traquita 7%– Grafica esfuerzo/deformación.

ENSAYO DE COMPRESIÓN- GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN

GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN							
f'c DEDISEÑO:		420 kg/cm ²		CURADO:	TRAQUITA 7%		
PROBETA:		MTA-15		AREA (cm):	176.710		
EDAD:		28 DÍAS		LONGITUD (mm):	301.5		
CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)	<p style="text-align: center;">Gráfica Esfuerzo-Deformación</p> <p style="text-align: center;">$y = -6.0133x^2 + 114.73x - 10.687$ $R^2 = 0.9981$</p>		
0	0	0.00	0.00	0.00			
4000	0.1	0.33	22.64	37.02			
8000	0.16	0.53	45.27	58.59			
12000	0.23	0.76	67.91	83.16			
16000	0.3	1.00	90.54	107.09			
20000	0.36	1.19	113.18	127.07			
24000	0.42	1.39	135.82	146.59			
28000	0.48	1.59	158.45	165.62			
32000	0.55	1.82	181.09	187.23			
36000	0.62	2.06	203.72	208.19			
40000	0.71	2.35	226.36	234.18			
44000	0.8	2.65	249.00	259.10			
48000	0.86	2.85	271.63	275.12			
52000	0.92	3.05	294.27	290.66			
56000	1.01	3.35	316.90	313.08			
60000	1.13	3.75	339.54	341.31			
64000	1.29	4.28	362.18	375.99			
68000	1.41	4.68	384.81	399.77			
72000	1.5	4.98	407.45	416.35			
76000	1.63	5.41	430.08	438.42			
80000	1.82	6.04	452.72	466.65			
84000	1.9	6.30	475.36	477.11			
88000	2	6.63	497.99	488.99			
90000	2.25	7.46	509.31	512.90			
ECUACIÓN (ESFUERZO):			-6.0133 X ²	+	114.73 X	+	-10.687
COEF. CORRELACIÓN:			R2=		0.9981		
ESF. ROTURA (kg/cm ²):			497.99				
MÓD. DE ELASTICIDAD:			334735.6991				
ECUACIÓN CORREGIDA:			-6.0133 X ²	+	113.604209 X	+	0

Tabla 94 . Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –curado: Traquita7% MTA-15.

ENSAYO DE COMPRESIÓN- GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN				
GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN				
f'c DE DISEÑO:	420 kg/cm ²		CURADO:	TRAQUITA 7%
PROBETA:	MTA-16		AREA (cm):	175.540
EDAD:	28 DÍAS		LONGITUD (mm):	302.5
CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm ²)	ESFUERZO CORREGIDO (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00	0.00
4000	0.1	0.33	22.79	30.82
8000	0.17	0.56	45.57	51.92
12000	0.24	0.79	68.36	72.63
16000	0.32	1.06	91.15	95.82
20000	0.4	1.32	113.93	118.49
24000	0.44	1.45	136.72	129.63
28000	0.52	1.72	159.51	151.53
32000	0.6	1.98	182.29	172.92
36000	0.67	2.21	205.08	191.22
40000	0.8	2.64	227.87	224.15
44000	0.93	3.07	250.66	255.73
48000	1.01	3.34	273.44	274.49
52000	1.18	3.90	296.23	312.65
56000	1.29	4.26	319.02	336.11
60000	1.36	4.50	341.80	350.53
64000	1.44	4.76	364.59	366.53
68000	1.56	5.16	387.38	389.58
72000	1.66	5.49	410.16	407.90
76000	1.73	5.72	432.95	420.24
80000	1.92	6.35	455.74	451.77
84000	2.05	6.78	478.52	471.68
87000	2.28	7.54	495.61	503.59
<div style="text-align: center;"> <p>Gráfica Esfuerzo-Deformación</p> <p>$y = -3.6675x^2 + 94.549x - 1.1975$ $R^2 = 0.9971$</p> </div>				
ECUACIÓN (ESFUERZO):			-3.6675 X ² +	94.549 X + -1.1975
COEF. CORRELACIÓN:			R ² =	0.9971
ESF. ROTURA (kg/cm ²):			495.61	
MÓD. DE ELASTICIDAD:			333935.6906	
ECUACIÓN CORREGIDA:			-3.6675 X ² +	94.4560537 X + 0

Tabla 95. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –curado: Traquita7% MTA-16.

ENSAYO DE COMPRESIÓN- GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN

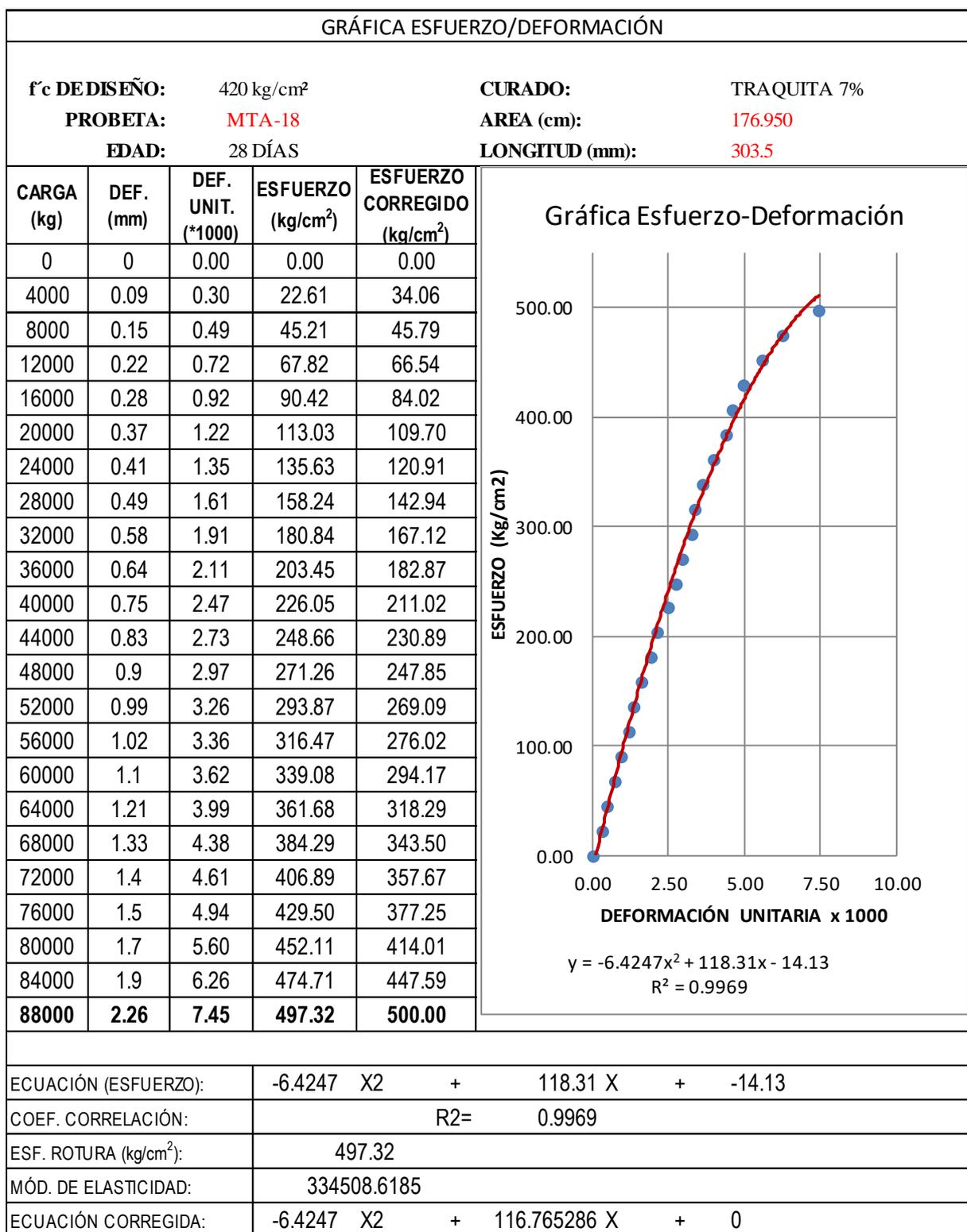


Tabla 96 . Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –curado: Traquita7% MTA-18.

D. Ensayo a compresión a un curado Traquita 12%– Grafica esfuerzo/deformación.

ENSAYO DE COMPRESIÓN- GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN

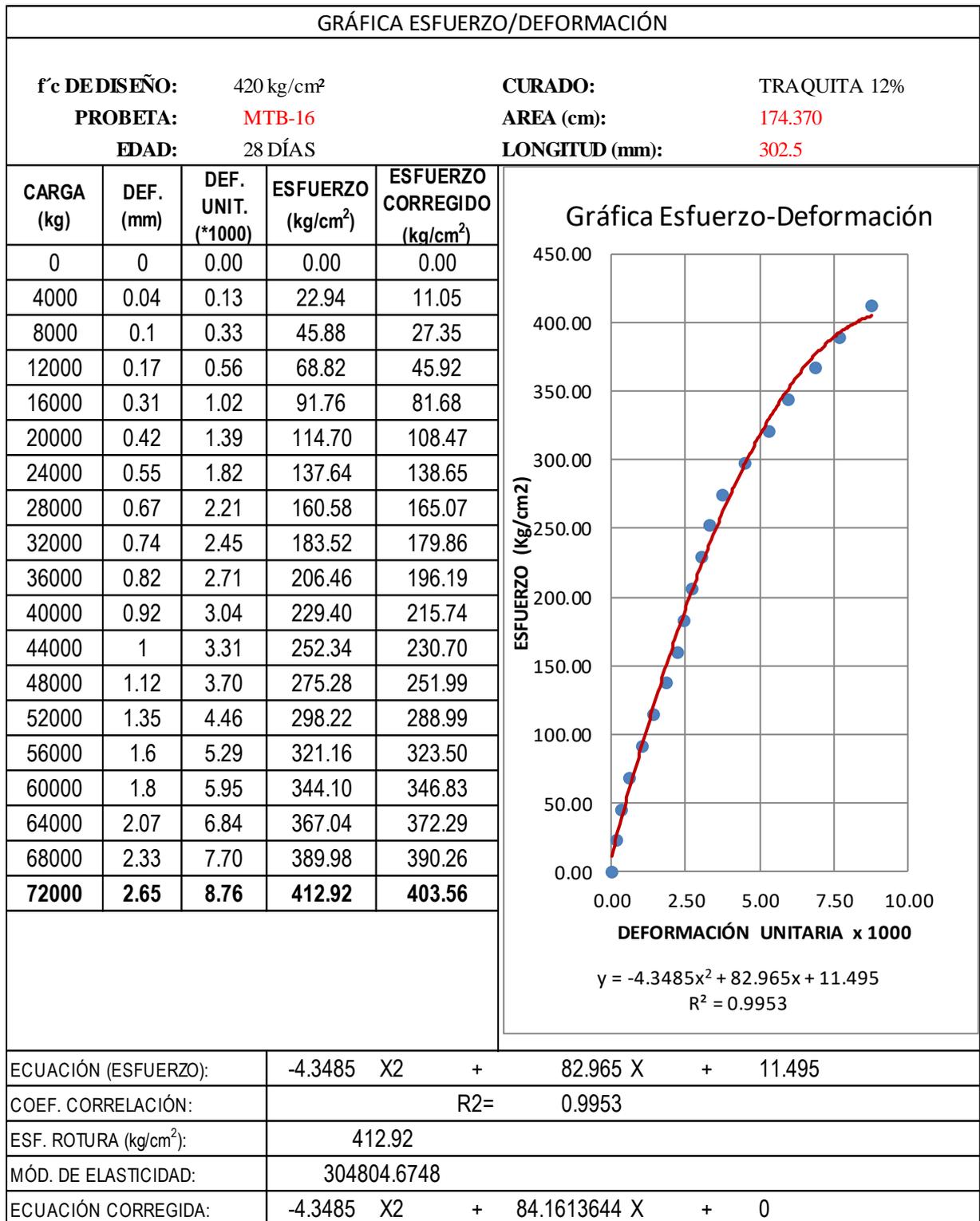


Tabla 97. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –curado: Traquita12% MTB-16.

ENSAYO DE COMPRESIÓN- GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN

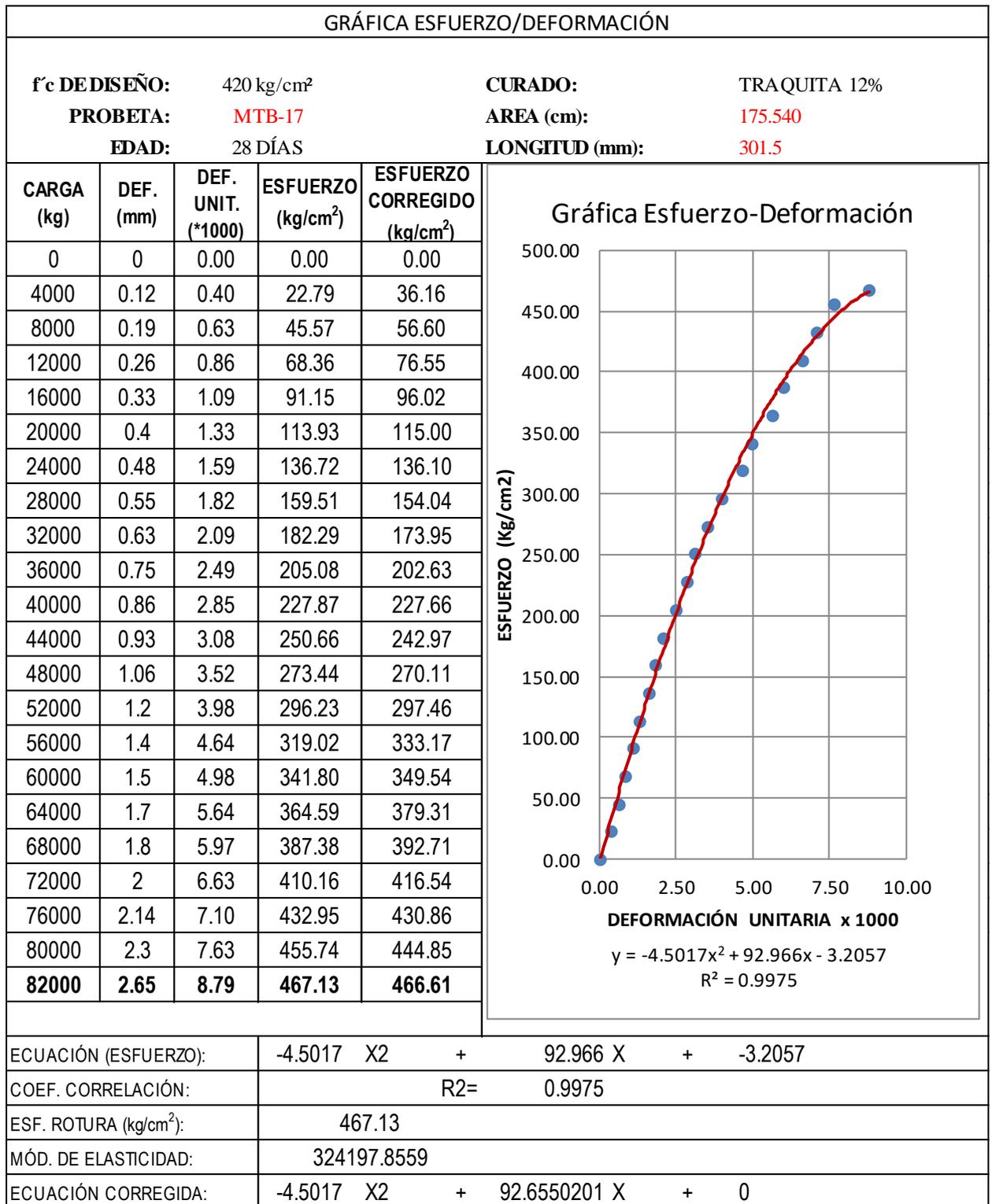


Tabla 98. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –curado: Traquita12% MTB-17.

ENSAYO DE COMPRESIÓN- GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN

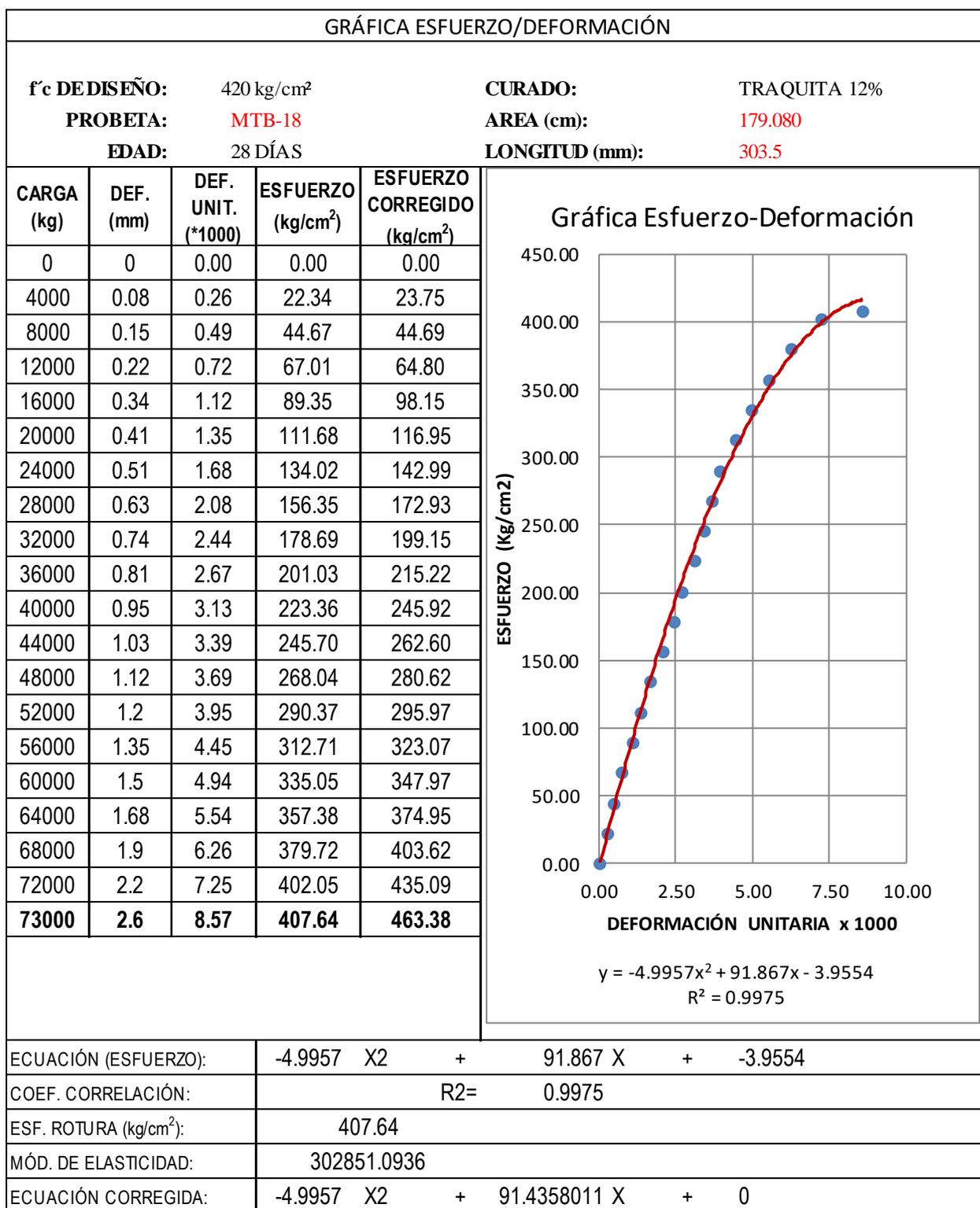


Tabla 99. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –curado: Traquita12% MTB-18.

E. Ensayo a compresión a un curado Traquita 17%– Grafica esfuerzo/deformación.

ENSAYO DE COMPRESIÓN- GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN

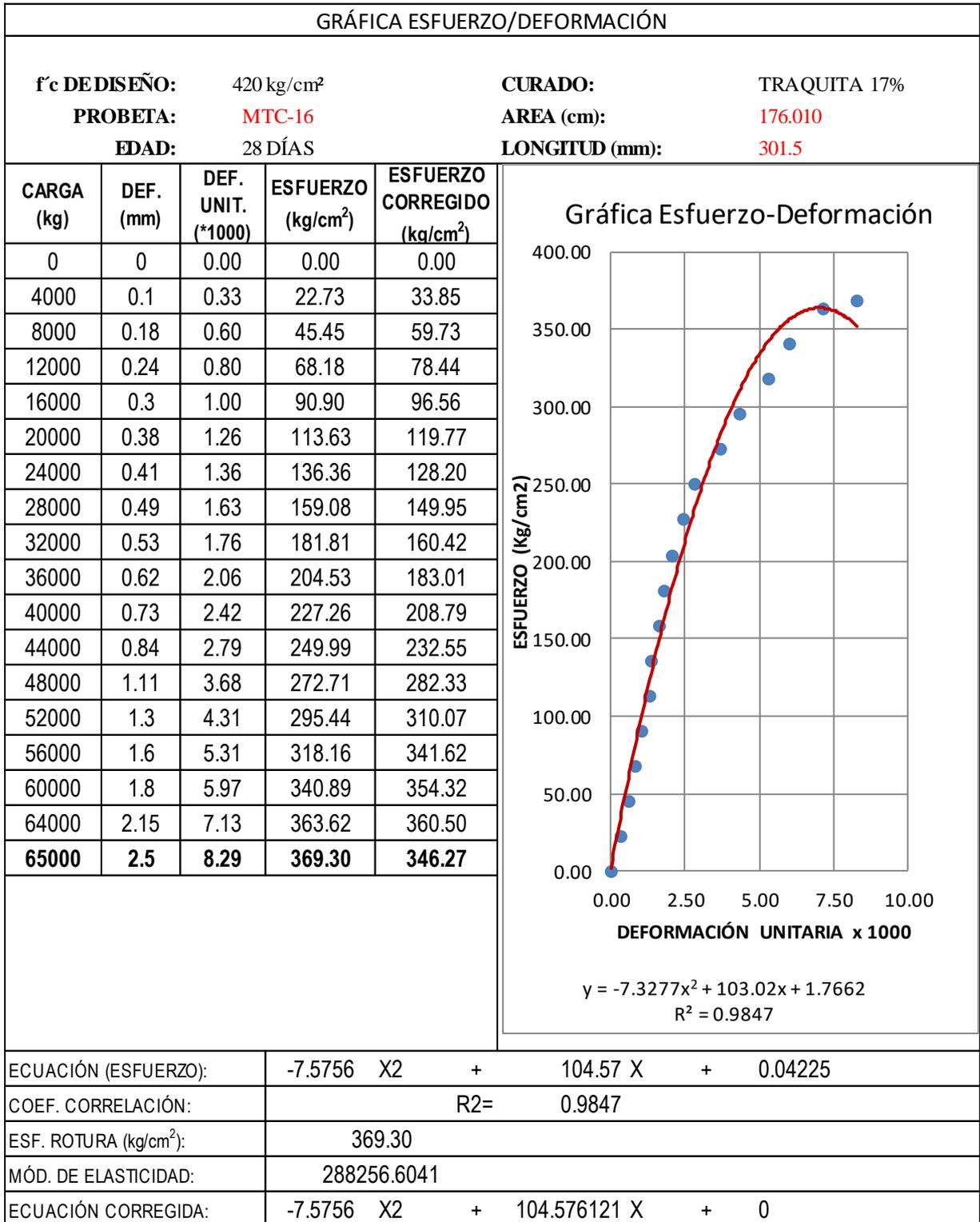


Tabla 100. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –curado: Traquita17% MTB-16.

ENSAYO DE COMPRESIÓN- GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN

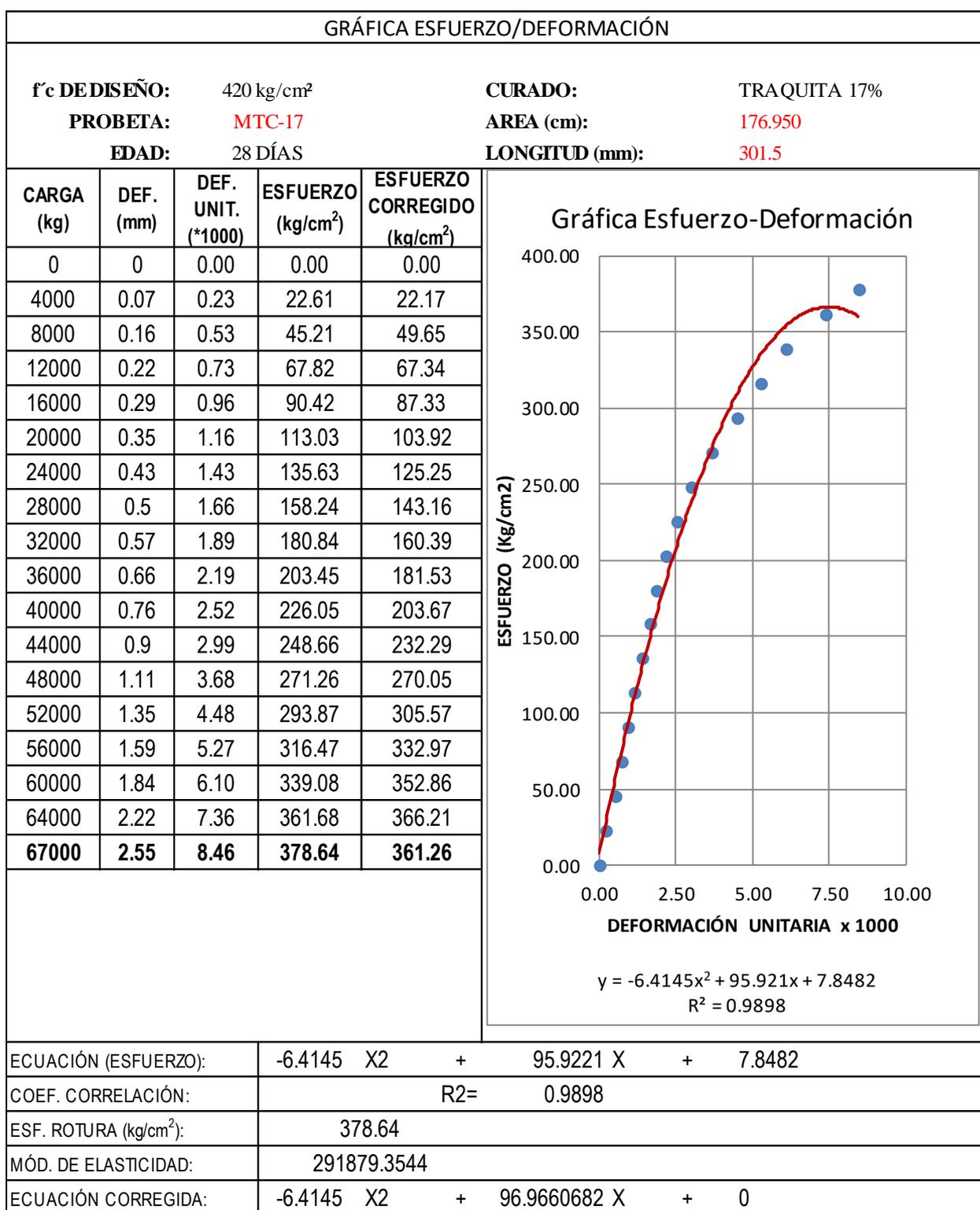


Tabla 101. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –curado: Traquita17% MTB-17.

ENSAYO DE COMPRESIÓN- GRÁFICA ESFUERZO/DEFORMACIÓN

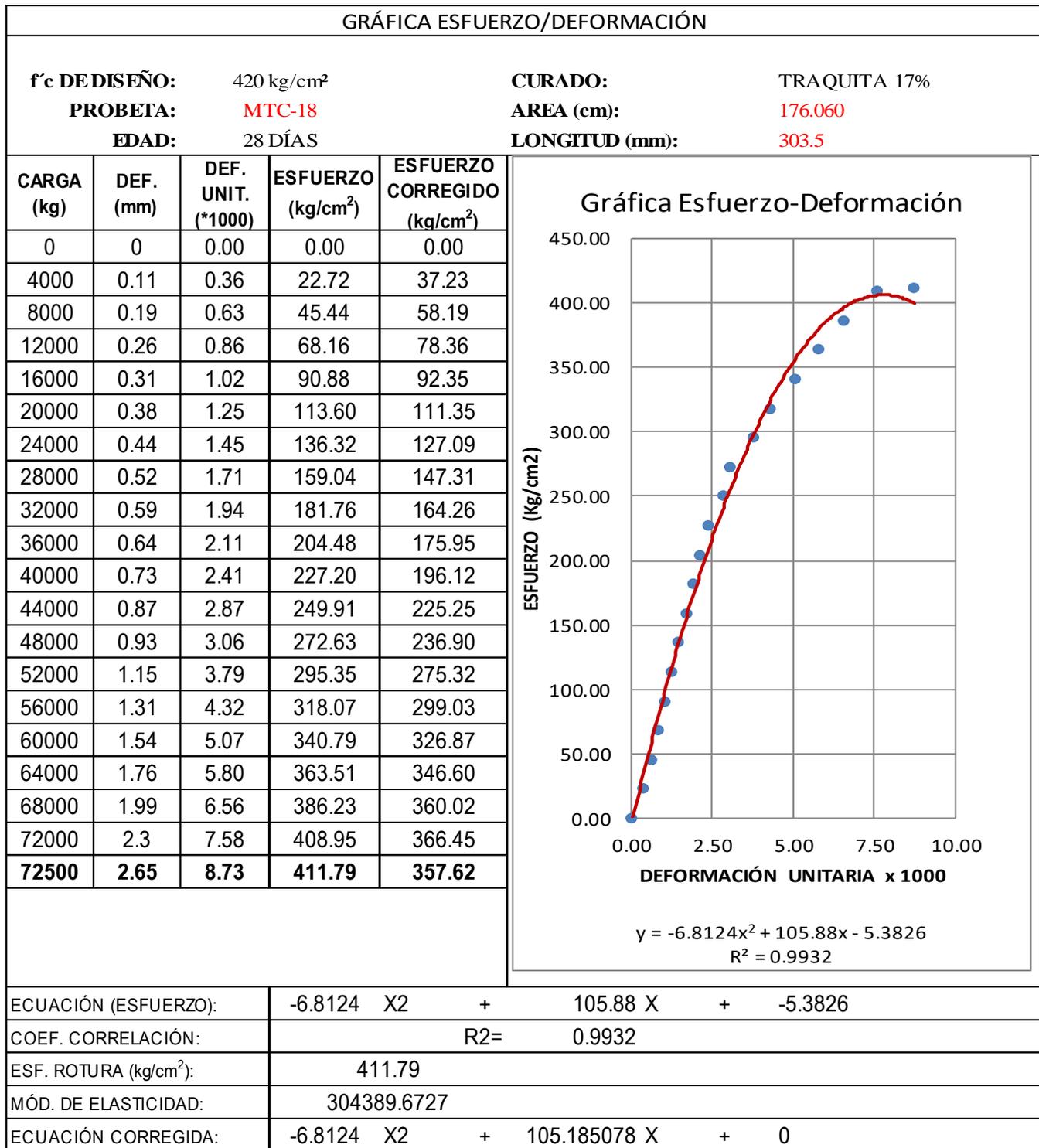


Tabla 102. Resistencia a compresión esfuerzo/deformación a 28 días –curado: Traquita17% MTB-18.

ANEXO VII: Cálculos y resultados de los ensayos de la resistencia a flexión del concreto a diferentes curados.

A. Ensayos de la resistencia a flexión del concreto a un curado de inmersión a la edad de 28 días.

CURADO: INMERSIÓN

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(Kg)	f'c (Kg/cm2)	L (cm)	B (cm)	H (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm2)
1	FP-1	21/10/2017	28	2470	420	45	14.9	15.4	47.18
2	FP-2	21/10/2017	28	2810	420	45	15.2	15.1	54.73
3	FP-3	21/10/2017	28	2450	420	45.3	15.2	14.9	49.33
4	FP-4	21/10/2017	28	2340	420	45.1	15.2	15	46.29
5	FP-5	21/10/2017	28	2630	420	45.2	15.15	15.15	51.28
6	FP-6	21/10/2017	28	2185	420	45	14.9	15.3	42.28
PROMEDIO									48.52

Tabla 103. Resistencia a flexión a 28 días –curado: inmersión.

B. Ensayos de la resistencia a flexión del concreto a un curado óptimo de traquita a la edad de 28 días.

CURADO: TRAQUITA

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	FECHA	EDAD (días)	CARGA DE ROTURA(kg)	f'c (Kg/cm2)	L (cm)	B (cm)	H (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm2)
1	FT-1	21/10/2017	28	2700	420	45	15.1	15.4	50.89
2	FT-2	21/10/2017	28	3010	420	45.3	15	15.4	57.49
3	FT-3	21/10/2017	28	2510	420	45.3	15	15.4	47.94
4	FT-4	21/10/2017	28	3130	420	45.15	15	15.5	58.82
5	FT-5	21/10/2017	28	2480	420	45.25	15.1	15	49.55
6	FT-6	21/10/2017	28	2820	420	45.2	15	15.25	54.81
PROMEDIO									53.25

Tabla 104. Resistencia a flexión a 28 días –curado:traquita.

ANEXO VIII: Análisis Precios Unitarios.

CONCRETO F'C = 420 KG/CM2						
m3/DIA	20.0000	EQ. 20.0000	Costo afectado por el metrado (1.00)		439.89	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh	0.2000	0.0800	19.27	1.54	
OPERARIO	hh	2.0000	0.8000	19.00	15.20	
OFICIAL	hh	2.0000	0.8000	15.67	12.54	
PEON	hh	10.0000	4.0000	14.00	56.00	
						85.28
Materiales						
ARENA GRUESA	m3		0.2987	90.00	26.88	
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.3530	90.00	31.77	
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	BOL		10.0900	25.00	252.25	
CHEMAPLAST CHEMAPLAST	gal		0.6375	35.00	22.31	
SIKA SEM CURADOR	gal		0.3000	33.00	9.90	
AGUA	m3		0.1886	5.00	0.94	
						344.05
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	85.28	2.56	
MEZCLADORA DE CONCRETO DE 9 -11p3	hm	1.0000	0.4000	10.00	4.00	
VIBRADOR DE 3/4" - 2" CONCRETO	hm	1.0000	0.4000	10.00	4.00	
						10.56
CONCRETO F'C = 420 KG/CM2 + 7 % TRAQUITA						
m3/DIA	20.0000	EQ. 20.0000	Costo afectado por el metrado (1.00)		428.51	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh	0.2000	0.0800	19.27	1.54	
OPERARIO	hh	2.0000	0.8000	19.00	15.20	
OFICIAL	hh	2.0000	0.8000	15.67	12.54	
PEON	hh	10.0000	4.0000	14.00	56.00	
						85.28
Materiales						
ARENA GRUESA	m3		0.2987	90.00	26.88	
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.3283	90.00	29.55	
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	BOL		10.0900	25.00	252.25	
CHEMAPLAST CHEMAPLAST	gal		0.6375	35.00	22.31	
TRAQUITA	m3		0.0247	30.00	0.74	
AGUA	m3		0.1886	5.00	0.94	
						332.67
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	85.28	2.56	
MEZCLADORA DE CONCRETO DE 9 -11p3	hm	1.0000	0.4000	10.00	4.00	
VIBRADOR DE 3/4" - 2" CONCRETO	hm	1.0000	0.4000	10.00	4.00	
						10.56

ANEXO IX: Panel fotográfico.



Figura 47. Fotografía del Ensayo Análisis Granulométrico.



Figura 48. Fotografía del Ensayo Peso Específico del Agregado Grueso.



Figura 49. Fotografía de la Reducción de muestras por el método del cuarteo.



Figura 50. Fotografía del Ensayo Cono De Absorción De Arenas.



Figura 51. Fotografía del Ensayo Peso Específico del Agregado Fino.



Figura 52 . Fotografía de Fragmentos Traquita Saturada por 3 días.

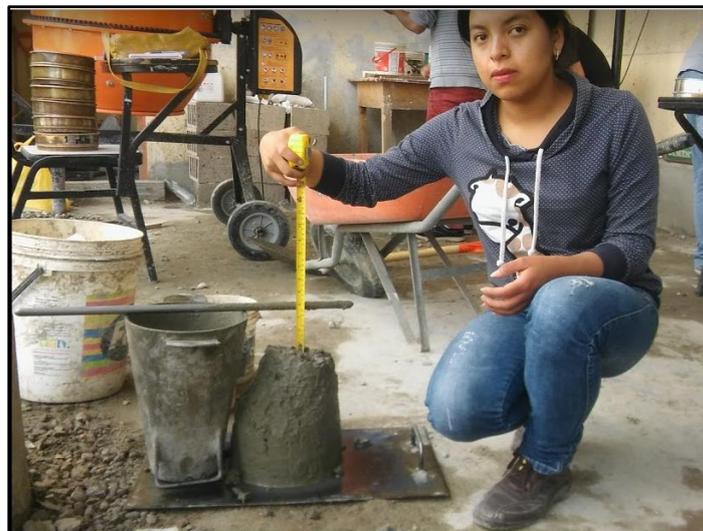


Figura 53. Fotografía de la prueba de abran para el concreto fresco



Figura 54. Fotografía de los especímenes prismáticos



Figura 55. Fotografía del Curado Interno de las Probetas de Concreto con % de Traquita.



Figura 56. Fotografía de la Máquina de Ensayo de Resistencia a Compresión.



Figura 57. Fotografía de la Falla de las Probetas.



Figura 58. Fotografía de la Máquina de Ensayo a Flexión.



Figura 59. Fotografía de la Distribución de la Traquita en la Probeta Ensayada a Flexión.

ANEXO X: Ficha Técnica Del Cemento Portland Tipo I



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, 20 de Julio del 2016

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.2	Máximo 6.0
SO3	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.73	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.10	Máximo 0.50
Superficie Específica	cm ² /g	3770	Mínimo 2500
Densidad	g/mL	3.12	NO ESPECÍFICA

Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	31.7 (323)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	38.5 (392)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	46.5 (474)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :			
Fraguado Inicial	min	132	Mínimo 45
Fraguado Final	min	289	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-06-2016 al 30-06-2016
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Mayo 2016
(*) Requisito opcional.

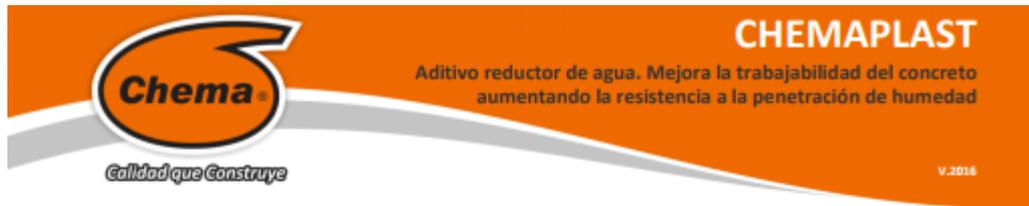
Ing. Ivanoff V. Rojas Tello

Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : **Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.**

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

ANEXO X: Ficha Técnica Del Aditivo Plastificante Chema Plast



DESCRIPCIÓN El CHEMAPLAST es un aditivo plastificante de color marrón a base de agentes dispersantes de alta eficacia exento de cloruros. Es un producto adecuado a las especificaciones ASTM C-494 tipo A.

Hace posible diseñar mezclas de concreto de fácil colocación con un contenido de hasta 10% menor de agua, generando aumento en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto. Tiene además propiedades de reducir la permeabilidad del concreto.
(Ver cuadro de Impermeabilizantes Integrales CHEMA).

VENTAJAS El concreto tratado con CHEMAPLAST tiene las siguientes ventajas:

- Mejor acabado: La plasticidad permite un mejor acabado, por lo tanto, aumenta la durabilidad.
- Aumenta la trabajabilidad y facilita la colocación del concreto en elementos esbeltos con alta densidad de armadura con una ligera vibración, sin necesidad de aumentar la relación agua / cemento.
- Disminuye la contracción debido a la mejor retención de agua así como mayor aglomeración interna del concreto en estado plástico.
- Aumenta la hermeticidad al agua impermeabilizándolo y produciendo mayor resistencia a la penetración de la humedad y por consiguiente al ataque de sales.
- Aumenta la durabilidad debido a su alto grado de resistencia al salitre, sulfatos y cloruros.
- No contiene cloruros.
- Aumenta la resistencia a la compresión y flexión a todas las edades; mejora la adherencia al acero de construcción.
- No transmite olor ni sabor al agua potable, ni la contamina. Cuenta con certificado CEPIS¹.

USOS

- En concretos estructurales de edificaciones y en elementos esbeltos.
- En concreto caravista.
- En concretos pretensados y post-tensados.
- En obras hidráulicas.
- En concretos para elementos pre-fabricados: postes, buzones, cajas, tuberías, etc.
- En concretos para pavimentos y puentes.
- En concretos que deben ser desencofrados a temprana edad.
- En concretos de reparación en general.
- En construcciones frente al mar se recomienda utilizarlo desde los cimientos, en el concreto de techos, vigas, columnas, pisos, en el mortero de asentado y en el tarrajeo. En esculturas de concreto.

DATOS TÉCNICOS

Densidad (Kg/gal) : 4.10 - 4.30
pH : 8.0 – 9.5
Color: Marrón oscuro
Aspecto: Líquido



Calidad que Construye

Hoja Técnica

CHEMAPLAST

Aditivo reductor de agua. Mejora la trabajabilidad del concreto aumentando la resistencia a la penetración de humedad

V.2016

- PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DEL PRODUCTO**
1. Agregar de 145 ml a 360 ml de **CHEMAPLAST** por bolsa de cemento al agua de amasado de acuerdo al efecto deseado, sin combinarlo con otros aditivos. Se sugiere realizar pruebas previas con los materiales, tipo de cemento y condiciones de obra.
 2. Para morteros impermeables usar diseño 1:3 (1 de cemento+ 3 de arena fina).

RENDIMIENTO La dosis sugerida es de 145 ml a 360 ml de **CHEMAPLAST** por bolsa de cemento.
La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales, tipo de cemento y en las condiciones de obra.

PRESENTACIÓN

Envase de 1 gal. (Código: 05003004)
Envase de 5 gal. (Código: 05003005)
Envase de 50 gal.(Código: 05003193)
Envase de 55 gal.(Código: 05003055)

ALMACENAMIENTO De almacenarse en lugar fresco, ventilado y sellado bajo techo su tiempo de vida útil será de 1 año.

PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES

En caso de emergencia, llame al CETOX (Centro Toxicológico).
Producto tóxico. NO INGERIR, mantenga el producto fuera del alcance de los niños.
No coma ni beba mientras manipula el producto.
Lávese las manos luego de manipular el producto.
Utilice guantes de seguridad, gafas y ropa protectoras de trabajo.
Almacene el producto bajo sombra y en ambientes ventilados.
En caso de contacto con los ojos y la piel, lávese con abundante agua.
Si es ingerido, no provocar vómitos; procure buscar ayuda médica inmediata.

ANEXO XI. Ficha Técnica Del Aditivo Sika Cem Curador.

Sika® Cem Curador

Curador químico para concreto y mortero

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	<p>Sika® Cem Curador es un compuesto de curado que al ser pulverizado sobre el concreto fresco se adhiere a la superficie de éste (concreto), formando una película impermeable al agua y al aire, evitando la evaporación del agua de la mezcla y el secado prematuro del concreto por efectos del sol y/o viento.</p> <p>USOS</p> <p>Sika® Cem Curador es indicado para todo tipo de concreto expuesto a la intemperie, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Techos.▪ Losas o pisos.▪ Vigas y/o columnas.▪ Veredas.▪ Rampas de acceso.▪ Canales de riego.▪ Carreteras.▪ Puentes.▪ Construcciones en general de concreto. <p>CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS</p> <p>El empleo de Sika® Cem Curador permite:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Reducir el riesgo de fisuración por secado prematuro del agua.▪ Rapidez y facilidad de aplicación, ya que se pulveriza sobre la superficie del concreto.▪ Reduce los tiempos de curado con agua (7 días) y la mano de obra.▪ Después de 3 horas de aplicado, Sika® Cem Curador no es afectado por las lluvias y su efecto se mantiene durante 3 semanas mínimo.
---------------------------------	---

DATOS BÁSICOS

FORMA	COLORES Transparente incoloro
	PRESENTACIÓN Balde x 4 L Balde x 20 L
ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL Sika® Cem Curador puede ser almacenado en un sitio libre de congelamiento a temperaturas sobre los +5 °C durante 2 años.
DATOS TÉCNICOS	DENSIDAD 1.11 +/- 0.01 Kg/L

INFORMACIÓN DEL SISTEMA

DETALLES DE APLICACIÓN	CONSUMO / DOSIS Dependiendo de las condiciones ambientales, especialmente de la velocidad del viento, el rendimiento es de 5 m ² por litro de Sika® Cem Curador 0,2 L/m ² .
MÉTODO DE APLICACIÓN	MODO DE EMPLEO Sika® Cem Curador se aplica sobre la superficie del concreto fresco, una vez que este haya adquirido una tonalidad opaca superficialmente, es decir, en cuanto haya evaporado el exceso de agua de mezcla, tiempo que puede estar entre media hora y tres horas después de finalizada su colocación, dependiendo del viento y la temperatura ambiente. Se debe agitar el contenido de los envases antes de su aplicación. Es recomendable el uso de pulverizadores (fumigadores) para su uso y rendimiento óptimo, mas Sika® Cem Curador puede ser aplicado con brocha o rodillo. PRECAUCIONES Limpie todas las herramientas y equipos de aplicación con agua inmediatamente después de su uso. Los datos técnicos indicados en esta hoja técnica están basados en ensayos de laboratorio. Los datos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.
BASES	Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.
RESTRICCIONES LOCALES	Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.
INFORMACIÓN DE SEGURIDAD E HIGIENE	Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.
NOTAS LEGALES	La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe .

ANEXO XII: Constancia Del Laboratorio De Ensayos De Materiales



Universidad Nacional de Cajamarca

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento Académico de Ciencias de la Ingeniería



EL DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA :

CONSTANCIA:

Que la Señorita FIORELA SOLANGE SALAZAR PRETELL, Bachiller de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, **ha realizado sus ensayos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales** de la Facultad de Ingeniería de la UNC, para la Tesis Titulada "CONCRETO AUTOCURABLE DE ALTA RESISTENCIA $F'c=420$ Kg/Cm², CON UN PORCENTAJE DE TRAQUITA EN EL AGREGADO GRUESO COMPARADO CON LOS PROCESOS MAS USADOS DE CURADO". Dichos ensayos se realizaron del 02 de mayo al 31 de agosto de 2017.

Se expide la presente, para los fines que estime conveniente.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento Académico de Ciencias de la Ingeniería
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Cajamarca, 11 de octubre de 2017.