UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN CONCRETO REUTILIZADO EN LA ETAPA DE FRAGUADO

Tesis presentada por los bachilleres:
CALLE CCALLI, RONAL ALEXANDER
MACHACA MAMANI, EVER CHRISTIAN
Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO CIVIL

APROBADO POR: _____

Miembros del Jurado de Tesis

Nombre y Apellido	Firma
Ing. Lucio Gamero Huarcaya	
Ing. Eleana Vásquez Cutipa	
Ing. Jean Paul Paredes Cueva	

AREQUIPA - PERÚ
2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN CONCRETO REUTILIZADO EN LA ETAPA DE FRAGUADO

Tesis presentada por los Bachilleres:

CALLE CCALLI, RONAL ALEXANDER

MACHACA MAMANI, EVER CHRISTIAN

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Director de Tesis:

ING. JORGE IRURI PEREZ

UNSA - SADI
No. Doc. B2-M-18340
No Ej. 01 Fecha 15/7/16
Firma Registrador

AREQUIPA – PERU
2015

DEDICATORIA

A Dios por darme su bendición, guiarme por el buen camino y darme fuerzas en todo momento.

A mis padres Fausto y Erminia quienes con su apoyo incondicional y constante me ayudan a superar todo obstáculo que se me presenta en la vida y gracias a ellos hoy puedo ser un profesional.

A mis hermanos Mario y Hermelinda, que con sus consejos y ánimos siempre me incentivan a ser mejor en la vida.

A Vicenta quien desde que nací me apoyo y protegió como a un hijo dándome las fuerzas necesarias en cada momento difícil de mi vida.

A toda mi familia; Tía Sonia, Tío Daniel, primo Fernando, Tía Aqui, mi cuñada Luci, mis sobrinas Katia y Sandra; a mi nueva familia Samuel, Cristina, Milagros, Fiorella y a todos los que me acompañaron siempre; gracias por ese apoyo y aliento de seguir adelante.

RONAL ALEXANDER CALLE CCALLI

DEDICATORIA

A ti Dios que me diste la oportunidad
de vivir y de regalarme una familia
maravillosa.

Con infinita gratitud, amor y respeto.
Dedico de una manera muy especial
esta Tesis a mis padres:
Edilberto y Fortunata quienes con sus
vidas me dan la fortaleza de seguir
siempre adelante.

A mis hermanos:
Dante, Edith, Dina y Maribel
por su cariño, amistad, comprensión
y apoyo incondicional.

A mis Sobrinos:
Armando, Emily, Davinia y Damian
los regalos más hermosos que Dios va
regalando a nuestras vidas.

A todas las personas que me acompañaron,
amigos y familia gracias por los ánimos
y aliento de seguir adelante.

EVER CHRISTIAN MACHACA MAMANI

RESUMEN

La carencia de información respecto al tiempo en el cual se puede reutilizar un concreto en proceso de fraguado, conlleva a la toma de decisiones en función de la experiencia pasada pero sin ningún sustento valido; por lo que se requiere tener un mayor conocimiento en este aspecto, siendo este el principal motivo de la presente investigación. Para lo cual analizamos las propiedades mecánicas de un concreto reutilizado en la etapa de fraguado inicial en función de la trabajabilidad, llegando a establecer un patrón de tiempo. Dando una solución al problema de pérdidas grandes de concreto como consecuencia de la postergación del proceso de vaciado.

Para esto, se trabajó con materiales de la cantera "La Poderosa" y cemento Yura Tipo IP , inicialmente hicimos el diseño de mezcla para resistencias de f'c= 210kg/cm2 y f'c= 280kg/cm2, posteriormente calculamos el tiempo de fraguado de la pasta de cemento con el ensayo de la "Aguja de Vicat", correspondiente a cada relación a/c de las resistencias en estudio, en cada diseño de mezcla se realizó el análisis de reutilización del concreto para 0, 1, 2, 3 y 4 horas posteriores a la elaboración de la mezcla. Para alcanzar la reutilización del concreto fue necesaria la adición de agua hasta recuperar la trabajabilidad del concreto inicial. A mayor tiempo de fraguado inicial se adiciono mayor cantidad de agua.

Finalmente se hizo la evaluación y comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de compresión y flexión, tomando como patrón las muestras con tiempo de fraguado inicial de 0 horas. Obteniendo como resultado que para un concreto de f'c= 210kg/cm2 y f'c= 280kg/cm2 la disminución de resistencia máxima a la compresión es del 22% en ambos diseños de mezcla y a la flexión del 19% y 17% respectivamente.

ABSTRACT

The lack of information regarding to the time which you can reuse a concrete in hardened process, leads to decisions based on past experience but without any valid support; so it is required to have more knowledge in this aspect, which is the main reason for this investigation. For which we analyzed the mechanical properties of a concrete reused in the stage of initial hardened according to the workability, reaching to establish a pattern of time. Giving a solution to the problem of large concrete losses as a result of postponing the process of pouring.

For this, we worked with materials from the quarry "La Poderosa" and Yura cement Type IP, initially we did the mix design for resistors f'c= 210kg/cm2 and f'c= 280kg/cm2, later we calculated the hardened time of the cement paste with the test of "Aguja de Vicat", for each ratio a/c of the resistance in study, in each mix design the reuse analysis of concrete was performed for 0, 1, 2, 3 and 4 hours after preparation of the mix. To achieve the reuse of concrete was necessary to add water to recover the initial workability of concrete. A higher initial hardened time more water was added.

Finally the evaluation and comparison of the results obtained in the compression and bending tests was made, using like pattern the samples with initial hardened time of 0 hours. Getting like result that for a concrete of f'c= 210kg/cm2 and f'c= 280kg/cm2 the decreasing maximum compressive strength is 22% in both mix designs and flexural strength of 19% and 17% respectively.

ÍNDICE

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN CONCRETO REUTILIZADO EN LA ETAPA DE FRAGUADO

CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO **1**

ÍNDICE DE FIGURAS **10**

ÍNDICE DE CUADROS **13**

CAPÍTULO I: GENERALIDADES **16**

1.1. PROBLEMÁTICA *16*
1.2. OBJETIVO *17*
1.3. HIPOTESIS *17*
1.4. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION *17*
1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACION *17*

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO **18**

2.1. INTRODUCCION *18*
2.2. NATURALEZA DEL CONCRETO *19*
2.2.1. DEFINICION DE CONCRETO *19*
2.2.2. IMPORTANCIA DEL CONCRETO *19*
2.2.3. REQUISITOS DE LAS MEZCLAS *20*
2.2.4. COMPOSICION DEL CONCRETO *20*
2.2.4.1. LA PASTA *20*
2.2.4.1.1. ELEMENTOS FUNDAMENTALES *20*
2.2.4.1.2. FUNCIONES DE LA PASTA *21*
2.2.4.1.3. PROPIEDADES DE LA PASTA *21*
2.2.4.1.4. INFLUENCIA DE LA PASTA EN EL CONCRETO *21*
2.2.4.2. EL GEL *22*
2.2.4.3. HIDRATACION Y CURADO DEL CONCRETO *22*
2.2.4.4. POROSIDAD DE LA PASTA *23*
2.2.4.5. EL AGREGADO *23*
2.2.4.5.1. CONCEPTO *23*
2.2.4.5.2. CLASIFICACION *24*
2.2.5. TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO *24*

2.2.5.1. PREFRAGUADO 24
2.2.5.2. FRAGUADO 26
2.2.5.2.1. ESTIMACION DEL TIEMPO DE FRAGUADO 26
2.2.5.3. POSTFRAGUADO 27
2.2.5.4. FACTORES QUE AFECTAN EL TIEMPO DE FRAGUADO 27
2.2.5.4.1. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL FRAGUADO 28
2.2.6. PROCESO DE ENDURECIMIENTO DEL CONCRETO 29
2.3. PROPIEDADES PRINCIPALES DEL CONCRETO 31
2.3.1. ESTRUCTURA INTERNA DEL CONCRETO 31
2.3.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO FRESO 32
2.3.2.1. TRABAJABILIDAD 32
2.3.2.1.1. ESTABILIDAD 33
2.3.2.1.2. COMPACTABILIDAD 33
2.3.2.1.3. MOVILIDAD 34
2.3.2.2. SEGREGACION 34
2.3.2.3. EXUDACION 35
2.3.2.4. CONTRACCION 36
2.3.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO ENDURECIDO 36
2.3.3.1. ELASTICIDAD 36
2.3.3.2. RESISTENCIA 36
2.3.3.2.1. RESISTENCIA A COMPRESION 37
2.3.3.2.2. RESISTENCIA A TENSION 39
2.3.3.3. EXTENSIBILIDAD 39
2.4. AGREGADOS PARA EL CONCRETO 40
2.4.1. IMPORTANCIA DEL AGREGADO 41
2.4.2. CLASIFICACION 42
2.4.2.1. POR SU PROCEDENCIA 42
2.4.2.1.1. AGREGADOS NATURALES 42
2.4.2.1.2. AGREGADOS ARTIFICIALES 42
2.4.2.2. POR SU GRADACION 44
2.4.2.2.1. AGREGADO FINO 44
2.4.2.2.2. AGREGADOS GRUESO 45
2.4.2.3. POR SU FORMA Y TEXTURA 48
2.4.2.4. POR SU DENSIDAD 50
2.4.3. PROPIEDADES 51
2.4.3.1. PROPIEDADES MECANICAS 51
2.4.3.2. PROPIEDADES FISICAS 51
2.4.3.2.1. CONDICIONES DE SATURACION 51
2.4.3.2.2. PESO ESPECÍFICO 52
2.4.3.2.3. PESO UNITARIO 53
2.4.3.2.4. PORCENTAJE DE VACIOS 53
2.4.3.2.5. ABSORCION 54

2.4.3.2.6. POROSIDAD 54
2.4.3.2.7. HUMEDAD 55
2.4.3.3. PROPIEDADES TERMICAS 55
2.4.3.4. PROPIEDADES QUIMICAS 55
2.5. CEMENTO PORTLAND 56
2.5.1. DEFINICION 56
2.5.2. ELABORACION DEL CEMENTO PORTLAND 57
2.5.3. TIPOS DE CEMENTO PORTLAND 57
2.5.3.1. CEMENTOS PORTLAND 57
2.5.3.2. CEMENTOS PORTLAND ADICIONADOS 58
2.5.4. MECANISMO DE HIDRATACION DEL CEMENTO 58
2.5.4.1. FRAGUADO INICIAL 59
2.5.4.2. FRAGUADO FINAL 59
2.5.4.3. ENDURECIMIENTO 59
2.5.5. PROPIEDADES FISICAS DEL CEMENTO 60
2.5.5.1. TIEMPO DE FRAGUADO 60
2.5.5.2. CALOR DE HIDRATACION 60
2.5.5.3. FALSO FRAGUADO 61
2.5.5.4. PESO ESPECÍFICO 61
2.5.5.5. SUPERFICIE ESPECÍFICA 62
2.5.6. PROPIEDADES QUIMICAS DEL CEMENTO 62
2.5.6.1. COMPONENTES PRINCIPALES DEL CEMENTO 62
2.5.6.2. COMPONENTES SECUNDARIOS DEL CEMENTO 64
2.5.7. CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL CEMENTO YURA IP 64
2.6. AGUA 65
2.6.1. AGUA EN EL CONCRETO 65
2.6.2. REQUISITOS PARA SU USO 66
2.6.3. AGUA PARA CURADO 66

CAPÍTULO III: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES A ENSAYAR 68

3.1. AGREGADOS PARA EL CONCRETO 68
3.1.1. AGREGADO GRUESO 68
3.1.1.1. MUESTREO 69
3.1.1.1.1. NORMAS 69
3.1.1.1.2. FUENTE DE ABASTECIMIENTO 69
3.1.1.1.3. EQUIPOS 70
3.1.1.1.4. MUESTREO 70
3.1.1.1.5. CUARTEO 70
3.1.1.2. GRANULOMETRIA 72
3.1.1.2.1. NORMAS 72
3.1.1.2.2. MARCO TEÓRICO 72

3.1.1.2.3. EQUIPO 74
3.1.1.2.4. PROCEDIMIENTO 74
3.1.1.2.5. RESULTADOS 76
3.1.1.2.6. ANALISIS DE RESULTADOS 79
3.1.1.3. MODULO DE FINEZA 79
3.1.1.3.1. NORMAS 79
3.1.1.3.2. MARCO TEÓRICO 79
3.1.1.3.3. RESULTADOS 80
3.1.1.4. CONTENIDO DE HUMEDAD 82
3.1.1.4.1. NORMAS 82
3.1.1.4.2. MARCO TEÓRICO 82
3.1.1.4.3. EQUIPO 83
3.1.1.4.4. PROCEDIMIENTO 83
3.1.1.4.5. RESULTADOS 84
3.1.1.5. PASANTE DE MALLA N°4 85
3.1.1.5.1. NORMAS 85
3.1.1.5.2. MARCO TEÓRICO 85
3.1.1.5.3. RESULTADOS 85
3.1.1.6. PESO ESPECÍFICO 86
3.1.1.6.1. NORMAS 86
3.1.1.6.2. MARCO TEÓRICO 86
3.1.1.6.3. EQUIPOS 86
3.1.1.6.4. PROCEDIMIENTO 87
3.1.1.6.5. CALCULOS 88
3.1.1.6.6. RESULTADOS 89
3.1.1.7. ABSORCION 90
3.1.1.7.1. NORMAS 90
3.1.1.7.2. MARCO TEÓRICO 90
3.1.1.7.3. EQUIPOS 90
3.1.1.7.4. PROCEDIMIENTO 90
3.1.1.7.5. RESULTADOS 90
3.1.1.8. PESO UNITARIO SUELTO 91
3.1.1.8.1. NORMAS 91
3.1.1.8.2. MARCO TEÓRICO 91
3.1.1.8.3. EQUIPOS 91
3.1.1.8.4. PROCEDIMIENTO 91
3.1.1.8.5. CALCULOS 92
3.1.1.8.6. RESULTADOS 93
3.1.1.9. PESO UNITARIO VARILLADO 93
3.1.1.9.1. NORMAS 93
3.1.1.9.2. MARCO TEÓRICO 93
3.1.1.9.3. EQUIPOS 94

3.1.1.9.4. PROCEDIMIENTO 94
3.1.1.9.5. CALCULOS 95
3.1.1.9.6. RESULTADOS 95
3.1.1.10. ENSAYO DE RESISTENCIA AL DESGASTE 96
3.1.1.10.1. NORMAS 96
3.1.1.10.2. MARCO TEÓRICO 96
3.1.1.10.3. EQUIPOS 98
3.1.1.10.4. PROCEDIMIENTO 98
3.1.1.10.5. RESULTADOS 99
3.1.1.10.6. ANALISIS DE RESULTADOS 100
3.1.2. AGREGADO FINO 100
3.1.2.1. MUESTREO 100
3.1.2.1.1. NORMAS 100
3.1.2.1.2. FUENTE DE ABASTECIMIENTO 100
3.1.2.1.3. EQUIPOS 101
3.1.2.1.4. MUESTREO 101
3.1.2.1.5. CUARTEO 101
3.1.2.2. GRANULOMETRIA 102
3.1.2.2.1. NORMAS 102
3.1.2.2.2. MARCO TEÓRICO 102
3.1.2.2.3. EQUIPO 104
3.1.2.2.4. PROCEDIMIENTO 104
3.1.2.2.5. RESULTADOS 106
3.1.2.2.6. ANALISIS DE RESULTADOS 109
3.1.2.3. MODULO DE FINEZA 109
3.1.2.3.1. NORMAS 109
3.1.2.3.2. MARCO TEÓRICO 109
3.1.2.3.3. RESULTADOS 110
3.1.2.4. CONTENIDO DE HUMEDAD 112
3.1.2.4.1. NORMAS 112
3.1.2.4.2. MARCO TEÓRICO 112
3.1.2.4.3. EQUIPO 112
3.1.2.4.4. PROCEDIMIENTO 112
3.1.2.4.5. RESULTADOS 113
3.1.2.5. PESO ESPECÍFICO 113
3.1.2.5.1. NORMAS 113
3.1.2.5.2. MARCO TEÓRICO 113
3.1.2.5.3. EQUIPOS 114
3.1.2.5.4. PROCEDIMIENTO 114
3.1.2.5.5. CALCULOS 117
3.1.2.5.6. RESULTADOS 118
3.1.2.6. ABSORCION 118

3.1.2.6.1. NORMAS 118
3.1.2.6.2. MARCO TEÓRICO 119
3.1.2.6.3. EQUIPOS 119
3.1.2.6.4. PROCEDIMIENTO 119
3.1.2.6.5. RESULTADOS 120
3.1.2.7. PESO UNITARIO SUELTO 120
3.1.2.7.1. NORMAS 120
3.1.2.7.2. MARCO TEÓRICO 120
3.1.2.7.3. EQUIPOS 121
3.1.2.7.4. PROCEDIMIENTO 121
3.1.2.7.5. CALCULOS 122
3.1.2.7.6. RESULTADOS 123
3.1.2.8. PESO UNITARIO VARILLADO 123
3.1.2.8.1. NORMAS 123
3.1.2.8.2. MARCO TEÓRICO 123
3.1.2.8.3. EQUIPOS 123
3.1.2.8.4. PROCEDIMIENTO 124
3.1.2.8.5. CALCULOS 124
3.1.2.8.6. RESULTADOS 125
3.2. CEMENTO 125
3.2.1. DENSIDAD DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP 125
3.2.1.1. NORMAS 125
3.2.1.2. MARCO TEÓRICO 126
3.2.1.3. EQUIPO 126
3.2.1.4. PROCEDIMIENTO 126
3.2.1.5. RESULTADOS 128
3.2.2. TIEMPO DE FRAGUADO 128
3.2.2.1. NORMAS 128
3.2.2.2. MARCO TEÓRICO 129
3.2.2.3. EQUIPO 129
3.2.2.4. PROCEDIMIENTO 129
3.2.2.5. RESULTADOS 133
3.2.2.6. ANALISIS DE RESULTADOS 138

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO 139

4.1. INTRODUCCION 139
4.2. DISEÑO DE MEZCLAS 139
4.2.1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO 140
4.2.2. INFORMACION REQUERIDA DE LOS MATERIALES 141
4.3. PROCEDIMIENTO Y METODO DE DISEÑO 142
4.3.1. METODO DE DISEÑO ACI 142

4.3.1.1. INFORMACION NECESARIA 144
4.3.1.2. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLAS f'c=210 kg/cm2 145
4.3.1.2.1. SELECCIÓN DE RESISTENCIA PROMEDIO 145
4.3.1.2.2. SELECCIÓN DEL TMN DEL AGREGADO GRUESO 145
4.3.1.2.3. SELECCIÓN DE LA CONSISTENCIA DE LA MEZCLA 145
4.3.1.2.4. DETERMINACION DEL VOLUMEN DE AGUA DE MEZCLADO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO 146
4.3.1.2.5. DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO EN LA MEZCLA 147
4.3.1.2.6. SELECCIÓN DE LA RELACION AGUA/CEMENTO (a/c) 147
4.3.1.2.7. CALCULO DEL FACTOR CEMENTO PRELIMINAR 148
4.3.1.2.8. DETERMINACION DE LAS PROPORCIONES DE AGREGADO GRUESO/FINO Y MEZCLA DE PRUEBA 149
4.3.1.2.9. CORRECION POR HUMEDAD DE AGREGADOS 151
4.3.1.3. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLAS f'c=280 kg/cm2 152
4.3.1.3.1. SELECCIÓN DE RESISTENCIA PROMEDIO 152
4.3.1.3.2. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 153
4.3.1.3.3. SELECCIÓN DE LA CONSISTENCIA DE LA MEZCLA 153
4.3.1.3.4. DETERMINACION DEL VOLUMEN DE AGUA DE MEZCLADO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO 153
4.3.1.3.5. DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO EN LA MEZCLA 153
4.3.1.3.6. SELECCIÓN DE LA RELACION AGUA – CEMENTO (a/c) 153
4.3.1.3.7. CALCULO DEL FACTOR CEMENTO 154
4.3.1.3.8. DETERMINACION DE LAS PROPORCIONES DE AGREGADO GRUESO/FINO Y MEZCLA DE PRUEBA 154
4.3.1.3.9. CORRECION POR HUMEDAD DE AGREGADOS 155
4.3.1.4. CUADRO RESUMEN DE PROPORCIONES DEL CONCRETO 157

CAPÍTULO V: ENSAYOS A EFECTUAR EN EL CONCRETO 158

5.1. PREPARACION DE MUESTRAS 158
5.1.1. ELABORACION DE CONCRETO 158
5.1.1.1. NORMA 158
5.1.1.2. MARCO TEÓRICO 158
5.1.1.3. EQUIPO 158
5.1.1.4. PROCEDIMIENTO 159
5.1.2. ELABORACION DE PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO 160
5.1.2.1. NORMA 160
5.1.2.2. MARCO TEÓRICO 160
5.1.2.3. EQUIPO 160
5.1.2.4. PROCEDIMIENTO 161
5.1.3. ELABORACION DE VIGUETAS DE CONCRETO 163
5.1.3.1. NORMA 163
5.1.3.2. MARCO TEÓRICO 163

5.1.3.3. EQUIPO 163
5.1.3.4. PROCEDIMIENTO 163
5.2. ENSAYOS EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO 167
5.2.1. TRABAJABILIDAD 167
5.2.1.1. NORMA 167
5.2.1.2. MARCO TEÓRICO 167
5.2.1.3. EQUIPO 168
5.2.1.4. PROCEDIMIENTO 168
5.2.2. PESO UNITARIO FRESCO 171
5.2.2.1. NORMA 171
5.2.2.2. MARCO TEÓRICO 171
5.3. DETERMINACION DE LA TRABAJABILIDAD PARA LA REUTILIZACION DEL CONCRETO 172
5.4. ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO 173
5.4.1. RESISTENCIA A LA COMPRESION 173
5.4.1.1. NORMAS 173
5.4.1.2. MARCO TEÓRICO 173
5.4.1.3. EQUIPO 174
5.4.1.4. PROCEDIMIENTO 174
5.4.1.5. CALCULOS 176
5.4.2. RESISTENCIA A LA TENSION POR FLEXION 176
5.4.2.1. NORMAS 176
5.4.2.2. MARCO TEÓRICO 176
5.4.2.2.1. PRUEBA DE TENSION DIRECTA 177
5.4.2.2.2. PRUEBA DE TENSION INDIRECTA 178
5.4.2.2.3. PRUEBA DE TENSION POR FLEXION 178
5.4.2.3. EQUIPO 185
5.4.2.4. PROCEDIMIENTO 185

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS 188

6.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO 188
6.1.1. ENSAYO DE TRABAJABILIDAD 188
6.1.1.1. PROBETAS - F'c = 210 Kg/cm2 188
6.1.1.2. EN PROBETAS - F'c = 280 Kg/cm2 190
6.1.1.3. VIGAS - F'c = 210 Kg/cm2 192
6.1.1.4. VIGAS - F'c = 280 Kg/cm2 194
6.1.2. ENSAYO DE PESO UNITARIO 195
6.2. RESULTADOS DE ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO 196
6.2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESION 196
6.2.1.1. PROBETAS - F'c = 210 Kg/cm2 196
6.2.1.2. PROBETAS - F'c = 280 Kg/cm2 197
6.2.2. RESISTENCIA A LA TENSION POR FLEXION 199

6.2.2.1. VIGAS - F'c = 210 Kg/cm2 199
6.2.2.2. VIGAS - F'c = 280 Kg/cm2 200
6.3. COMPARACION DE RESULTADOS 202
6.3.1. RESISTENCIA A LA COMPRESION 202
6.3.1.1. PROBETAS - F'c = 210 Kg/cm2 202
6.3.1.2. PROBETAS - F'c = 280 Kg/cm2 203
6.3.2. RESISTENCIA A LA TENSION POR FLEXION 205
6.3.2.1. VIGAS - F'c = 210 Kg/cm2 205
6.3.2.2. VIGAS - F'c = 280 Kg/cm2 206
6.3.3. RESISTENCIA A LA COMPRESION EN FUNCION DE LA RELACION A/C 208
6.3.3.1. PROBETAS - F'c = 210 Kg/cm2 208
6.3.3.2. PROBETAS - F'c = 280 Kg/cm2 209

CONCLUSIONES 211

RECOMENDACIONES 215

BIBLIOGRAFÍA 217

ANEXOS 220

ANEXO A: Propiedades fisicas de los agregados 220
ANEXO B: Propiedades del cemento 221
ANEXO C: Propiedades del concreto en estado fresco 222
ANEXO D: Resistencia a la compresión 223
ANEXO E: Resistencia a la tensión por flexión 224
ANEXO F: Resistencia a la compresión en funcion de la relacion a/c 225
ANEXO G: Memoria Fotografica 226

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema típico de la Estructura del Concreto Endurecido 32
Figura 2. Proporciones Típicas en Volumen Absoluto de los Componentes del Concreto 41
Figura 3. Estados de Saturación del Agregado 52
Figura 4. Fuente de Abastecimiento de Agregado Grueso - Cantera "La Poderosa". 69
Figura 5. Muestreo del Agregado Grueso. 70
Figura 6. Toma de material para el cuarteo del Agregado Grueso. 71
Figura 7. Distribución uniforme del agregado grueso previo al cuarteo. 71
Figura 8. Cuarteo del agregado grueso. 71
Figura 9. Colocación del agregado grueso en la tamizadora mecánica. 75
Figura 10. Tamizado del agregado grueso. 76
Figura 11. Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Muestra M-1 77
Figura 12. Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Muestra M-2 78
Figura 13. Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Muestra M-3 79
Figura 14. Sumergido del Agregado Grueso. 87
Figura 15. Preparación del Agregado Grueso al estado Saturado Superficialmente Seco. 88
Figura 16. Sumergido del Agregado Grueso Saturado Superficialmente Seco para determinar el volumen desalojado. 88
Figura 17. Llenado del molde metálico con agregado grueso. 92
Figura 18. Enrasado del molde con agregado grueso. 92
Figura 19. Enrasado del molde metálico con Ag. Grueso para el Peso Unitario Varillado. 94
Figura 20. Colocación del Agregado Grueso en la Maquina de los Ángeles. 98
Figura 21. Material extraído de la Maquina de los Ángeles. 99
Figura 22. Tamizado del Agregado Grueso resultante de la Maquina de Los Ángeles. 99
Figura 23. Fuente de Abastecimiento del Agregado Fino - Cantera "La Poderosa". 101
Figura 24. Cuarteo del Agregado Fino. 102
Figura 25. Tamizado manual del Agregado Fino. 105
Figura 26. Curva Granulométrica del Agregado Fino - Muestra M-1. 106
Figura 27. Curva Granulométrica del Agregado Fino - Muestra M-2. 107
Figura 28. Curva Granulométrica del Agregado Fino - Muestra M-3. 108
Figura 29. Agregado Fino Sumergido. 115
Figura 30. Preparación del Agregado Fino al Estado Saturado Superficialmente Seco. 115
Figura 31. Compactación del Agregado Fino para la verificación del Estado Saturado Superficialmente Seco. 116
Figura 32. Verificación del Estado Saturado Superficialmente Seco. 116
Figura 33. "Baño María" de las fiolas con Ag. Fino. 116
Figura 34. Rolado de las fiolas para eliminar el aire atrapado. 117
Figura 35. Fiolas listas para el pesado y toma de datos. 117
Figura 36. Llenado del molde con Agregado Fino. 121

Figura 37. Enrasado del molde. 122
Figura 38. Pesado y toma de datos. 122
Figura 39. Matraz de Le Chatelier llenado con kerosene hasta la marca de 0ml a 1ml 127
Figura 40. Colocación del cemento en el matraz. 128
Figura 41. Materiales para el ensayo de tiempo de fraguado. 130
Figura 42. Aparato de Vicat. 131
Figura 43. Acondicionamiento del Aparato de Vicat. 131
Figura 44. Pesado del cemento. 131
Figura 45. Preparación de la Pasta de cemento. 132
Figura 46. Muestras preparadas y listas para la penetración de la aguja de Vicat. 132
Figura 47. Penetración de la Aguja de Vicat en la Muestra de pasta de cemento. 132
Figura 48. Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.49 134
Figura 49. Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.53 134
Figura 50. Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.57 135
Figura 51. Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.59 135
Figura 52. Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.63 136
Figura 53. Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.68 136
Figura 54. Tiempo de Fraguado vs Penetración para diferentes relaciones a/c 137
Figura 55. Relación a/c vs Tiempo de Fraguado 138
Figura 56. Mezcladora Eléctrica de Concreto 159
Figura 57. Colocación de materiales en la mezcladora 159
Figura 58. Mezclado del concreto. 160
Figura 59. Llenado de moldes de probetas. 161
Figura 60. Varillado de probetas. 161
Figura 61. Vibrado de probetas con combo de goma. 162
Figura 62. Probetas enrasadas y rotuladas. 162
Figura 63. Probetas de concreto desmoldadas. 162
Figura 64. Probetas en proceso de curado. 163
Figura 65. Llenado de moldes de vigas de concreto. 166
Figura 66. Viguetas enrasadas y rotuladas. 166
Figura 67. Viguetas desmoldadas y listas para el curado. 166
Figura 68. Curado de viguetas de concreto. 167
Figura 69. Cono de Abrams. 169
Figura 70. Medida del asentamiento con el cono de Abrams. 170
Figura 71. Ensayo de Trabajabilidad con el cono de Abrams. 170
Figura 72. Medida del asentamiento del concreto. 170
Figura 73. Diferencia de slumps en diferentes tiempos de fraguado. 173
Figura 74. Secado de las probetas de concreto. 174

Figura 75. Colocación de probetas en la prensa. 175
Figura 76. Aplicación de la carga a la probeta. 175
Figura 77. Falla de la probeta de concreto. 175
Figura 78. Representación de procedimientos para determinar la resistencia a la tracción del concreto. 177
Figura 79. Esquema de Ensayo a Flexión. 179
Figura 80. Distribución de esfuerzos en la sección de falla de especímenes de concreto a tensión. 180
Figura 81. Diagrama de flexión en una viga. 180
Figura 82. Diagramas de corte y de momento. 181
Figura 83. Sumatoria de momentos con respecto al punto O. 182
Figura 84. Esquema de esfuerzo de flexión en una viga. 183
Figura 85. Secado de viguetas para el ensayo a flexión. 186
Figura 86. Sistema de rotura de viga a flexión. 186
Figura 87. Rotura de viga sometida a carga de flexión. 186
Figura 88. Vigas ensayadas a flexión. 187
Figura 89. Curvas Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=210kg/cm2 196
Figura 90. Barras Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=210kg/cm2 197
Figura 91. Curvas Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=280kg/cm2 198
Figura 92. Barras Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=280kg/cm2 198
Figura 93. Curvas de resistencia a la flexión f'c=210kg/cm2 199
Figura 94. Barras de resistencia a la flexión f'c=210kg/cm2 200
Figura 95. Curvas de resistencia a la flexión f'c=280kg/cm2 201
Figura 96. Barras de resistencia a la flexión f'c=280kg/cm2 201
Figura 97. Barras de resistencias a la compresión en porcentajes f'c=210kg/cm2 209
Figura 98. Barras de resistencias a la compresión en porcentajes f'c=280kg/cm2 210

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Condiciones y procedimientos normalizados para la determinación de la Resistencia a la Compresión del Concreto 38

Cuadro 2. Rocas y constituyentes minerales en agregados para concreto 43

Cuadro 3. Límites de Granulometría según ASTM 44

Cuadro 4. Requerimiento de Granulometría del Agregado Grueso 46

Cuadro 5. Clasificación de la Forma de las Partículas 49

Cuadro 6. Clasificación de la Textura Superficial de los Agregados 50

Cuadro 7. Minerales, rocas y materiales sintéticos que pueden ser potencialmente reactivos con los álcalis del cemento 56

Cuadro 8. Valores promedio típicos de la composición de los componentes de cemento portland de diferentes tipos. 58

Cuadro 9. Requisitos Químicos 58

Cuadro 10. Características químicas del Cemento YURA IP 64

Cuadro 11. Límites permisibles para el agua de mezcla y de curado según NTP 339.088 66

Cuadro 12. Uso granulométrico para el agregado grueso según NTP 400.037 74

Cuadro 13. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso y global. 75

Cuadro 14. Granulometría del Agregado Grueso - Muestra M-1 76

Cuadro 15. Granulometría del Agregado Grueso - Muestra M-2 77

Cuadro 16. Granulometría del Agregado Grueso - Muestra M-3 78

Cuadro 17. Resultados del ensayo de Modulo de Fineza del Agregado Grueso Muestra M-1 80

Cuadro 18. Resultados del ensayo de Modulo de Fineza del Agregado Grueso Muestra M-2 81

Cuadro 19. Resultados del ensayo de Modulo de Fineza del Agregado Grueso Muestra M-3 81

Cuadro 20. Resultados del ensayo de Contenido de Humedad del Agregado Grueso. 84

Cuadro 21. Resultados del ensayo de Pasante de la Malla N°4 del Agregado Grueso. 85

Cuadro 22. Resultados del ensayo de Peso Específico del Agregado Grueso. 89

Cuadro 23. Resultados del Ensayo de Absorción del Agregado Grueso. 90

Cuadro 24. Resultados del ensayo de Peso Unitario Suelto. 93

Cuadro 25. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Varillado del Agregado Grueso. 95

Cuadro 26. Carga Abrasiva para el Agregado Grueso. 97

Cuadro 27. Gradaciones para el Agregado Grueso. 97

Cuadro 28. Resultados del ensayo de Abrasión del Agregado Grueso. 99

Cuadro 29. Limites granulométricos del Agregado Fino según NTP 400.037. 103

Cuadro 30. Granulometría del Agregado Fino - Muestra M-1. 106

Cuadro 31. Granulometría del Agregado Fino - Muestra M-2. 107

Cuadro 32. Granulometría del Agregado Fino - Muestra M-3. 108

Cuadro 33. Resultados del Ensayo de Modulo de Fineza del Agregado Fino Muestra M-1. 110

Cuadro 34. Resultados del Ensayo de Modulo de Fineza del Agregado Fino Muestra M-2. 110

Cuadro 35. Resultados del Ensayo de Modulo de Fineza del Agregado Fino Muestra M-3. 111

Cuadro 36. Resultados del ensayo de Contenido de Humedad. 113

Cuadro 37. Resultados del Ensayo de Peso Específico del Agregado Fino. 118

Cuadro 38. Resultados del Ensayo de Absorción. 120

Cuadro 39. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Suelto del Agregado Fino. 123

Cuadro 40. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Varillado del Agregado Fino. 125

Cuadro 41. Resultados del Ensayo de Densidad de Cemento. 128

Cuadro 42. Resultados del ensayo de Tiempo de Fraguado - Aguja de Vicat. 133

Cuadro 43. Tiempo de fraguado para las relaciones a/c correspondientes a los diseños de mezcla de f'c=210kg/cm2 y f'c=280kg/cm2 138

Cuadro 44. Parámetros Físicos de los Agregados para el Concreto 144

Cuadro 45. Resistencias promedio en función de las resistencias de diseño 145

Cuadro 46. Resistencia promedio a diseñar – f'c=210kg/cm2 145

Cuadro 47. Asentamientos máximos y mínimos del concreto según el tipo de construcción 146

Cuadro 48. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados. 147

Cuadro 49. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto 148

Cuadro 50. Volumen de Agregado Grueso por unidad de volumen de concreto 149

Cuadro 51. Volúmenes absolutos de los componentes del concreto sin considerar el agregado fino f'c=210kg/cm2 150

Cuadro 52. Dosificación preliminar para 1m3 de concreto – f'c=210kg/cm2 150

Cuadro 53. Corrección por humedad del agregado – f'c=210kg/cm2 151

Cuadro 54. Aporte de Humedad de los componentes del concreto – f'c=210kg/cm2 151

Cuadro 55. Peso de materiales corregidos para 1 m3 de concreto – f'c=210kg/cm2 151

Cuadro 56. Volúmenes de materiales corregidos para 1m3 de concreto - f'c=210kg/cm2 152

Cuadro 57. Resistencia promedio a diseñar – f'c=280kg/cm2 152

Cuadro 58. Volúmenes absolutos de los componentes del concreto sin considerar el agregado fino f'c=280kg/cm2 154

Cuadro 59. Dosificación preliminar para 1m3 de concreto – f'c=280kg/cm2 155

Cuadro 60. Corrección por humedad del agregado – f'c=280kg/cm2 155

Cuadro 61. Aporte de Humedad de los componentes del concreto – f'c=280kg/cm2 155

Cuadro 62. Peso de materiales corregidos para 1 m3 de concreto – f'c=280kg/cm2 156

Cuadro 63. Dosificación en peso de los materiales para 1m3 de concreto f'c=280kg/cm2 156

Cuadro 64. Volúmenes de materiales corregidos para 1m3 de concreto - f'c=280kg/cm2 157

Cuadro 65. Componentes en peso para 1m3 de concreto seco. 157

Cuadro 66. Componentes en peso para 1m3 de concreto corregido por humedad. 157

Cuadro 67. Numero de capas requerida por especímenes 164

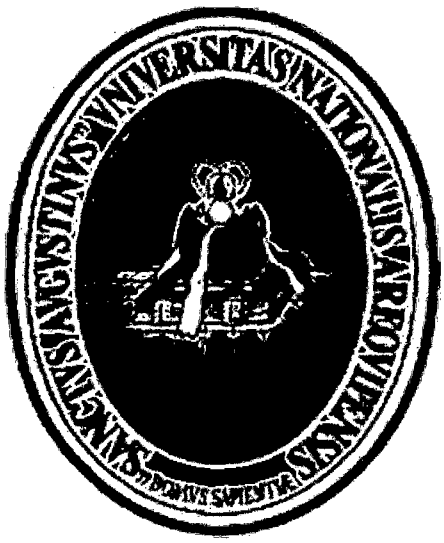
Cuadro 68. Diámetro de la varilla y número de golpes por capa. 165

Cuadro 69. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=210kg/cm2 (Edad 7 días) 188

Cuadro 70. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=210kg/cm2 (Edad 14 días) 189

Cuadro 71. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=210kg/cm2 (Edad 28 días) 189

Cuadro 72. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=280kg/cm2 (Edad 7 días) 190
Cuadro 73. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=280kg/cm2 (Edad 14 días) 190
Cuadro 74. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=280kg/cm2 (Edad 28 días) 191
Cuadro 75. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=210kg/cm2 (Edad 7 días) 192
Cuadro 76. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=210kg/cm2 (Edad 14 días) 192
Cuadro 77. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=210kg/cm2 (Edad 28 días) 193
Cuadro 78. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=280kg/cm2 (Edad 7 días) 194
Cuadro 79. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=280kg/cm2 (Edad 14 días) 194
Cuadro 80. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=280kg/cm2 (Edad 28 días) 195
Cuadro 81. Resultados del ensayo de Peso Unitario del concreto fresco. 195
Cuadro 82. Resumen del ensayo de resistencia a la compresión f'c=210kg/cm2 196
Cuadro 83. Resumen del ensayo de resistencia a la compresión f'c=280kg/cm2 197
Cuadro 84. Resumen del ensayo de resistencia a la flexión f'c=210kg/cm2 199
Cuadro 85. Resumen del ensayo de resistencia a la flexión f'c=280kg/cm2 200
Cuadro 86. Comparación de Resistencia a la compresión f'c=210kg/cm2. 203
Cuadro 87. Comparación de Resistencia a la compresión f'c=280kg/cm2. 204
Cuadro 88. Comparación de Resistencia a la tensión por flexión f'c=210kg/cm2. 206
Cuadro 89. Comparación de Resistencia a la tensión por flexión f'c=280kg/cm2 207
Cuadro 90. Resistencias a la compresión para diferentes relaciones a/c f'c=210kg/cm2 208
Cuadro 91. Comparación de resistencias a la compresión en porcentaje f'c=210kg/cm2 208
Cuadro 92. Resistencias a la compresión para diferentes relaciones a/c f'c=280kg/cm2 209
Cuadro 93. Comparación de resistencias a la compresión en porcentaje f'c=280kg/cm2 210



CAPITULO I

GENERALIDADES

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. PROBLEMÁTICA

En la actualidad, en nuestro país, el material predominante en la construcción es el concreto siendo así necesario su aprovechamiento al máximo. Las pérdidas excesivas de concreto en la etapa de construcción de obras civiles, generadas por el mal manejo y control en la fase del vaciado, conllevan a grandes pérdidas económicas.

Por experiencias en obras pasadas tenemos conocimiento que debido a ciertos factores (clima, temperatura, planificación incorrecta, etc.), se puede llegar a posponer la fase de vaciado del concreto; generando un serio problema, más aun si se tienen en grandes cantidades de concreto mezclado, siendo el constructor quien tomara la decisión de reutilizar el concreto que se tiene preparado en obra o desecharlo en su totalidad provocando así un aumento en el presupuesto y pérdidas de tiempo en la ejecución de la obra.

La carencia de información respecto al tiempo en el cual se puede reutilizar un concreto en proceso de fraguado conlleva a la toma de decisiones en función a la experiencia pasada pero sin ningún sustento valido; por lo que se requiere tener un mayor conocimiento en este aspecto siendo este el principal motivo de la presente investigación.

En las ciudades este tema es de suma importancia debido a la necesidad de minimizar la extracción de recursos naturales con el fin de generar una estabilidad ambiental y desarrollo sostenible.

1.2. OBJETIVO

El objetivo de la presente investigación es evaluar las propiedades mecánicas de un concreto reutilizado en la etapa de fraguado inicial, para las condiciones ambientales de la ciudad de Arequipa, en función de la trabajabilidad y llegar a establecer un patrón de tiempo para la reutilización del concreto en proceso de fraguado. Dando una solución al problema de pérdidas grandes de concreto como consecuencia de la postergación del proceso de vaciado.

1.3. HIPÓTESIS

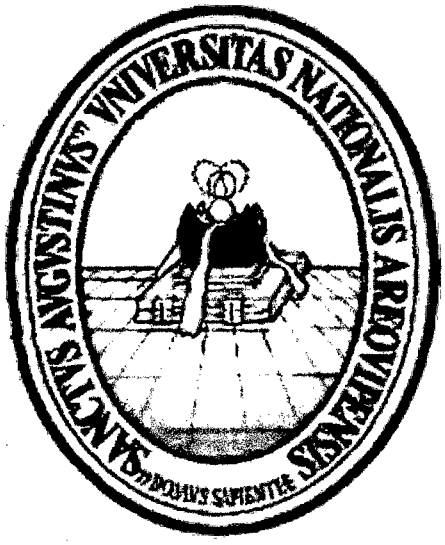
"La reutilización del concreto en proceso de fraguado es posible hasta un determinado rango de tiempo en función de su trabajabilidad".

1.4. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación está orientada a dar una solución práctica al problema de la postergación del vaciado del concreto (teniendo el concreto preparado), a través de la reutilización del concreto en etapa de fraguado, evitando así perdidas económicas (materiales, horas hombre, horas máquina, etc.) a través de la determinación de un tiempo patrón en base a ensayos que garanticen una mínima variación en sus propiedades mecánicas respecto a un concreto no reutilizado (concreto vaciado inmediatamente después del mezclado).

1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación posee un alcance Experimental, debido a la escaza información relacionada a la reutilización del concreto en proceso de fraguado. Para la cual se llegara a determinar un rango de tiempo de fraguado en el cual las propiedades del concreto garanticen su buen comportamiento.



CAPITULO II

MARCO TEORICO

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

El concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable permitiéndole adquirir cualquier forma, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción, según [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

Por lo mencionado en el párrafo anterior se entiende que se obtiene un producto hibrido que varía en mayor o menor grado las características de sus componentes, que bajo un buen control, aportan varias de sus propiedades individuales para conformar un material con propiedades y un comportamiento particular y original.

Como consecuencia para tener éxito en su manipulación, es necesario conocer no solo las propiedades del producto resultante, sino también de cada uno de sus componentes y la relación entre ellos. En este punto es necesario establecer que un concreto de buena calidad es aquel que satisface eficientemente los requisitos de trabajabilidad, colocación,

compactación, resistencia, durabilidad y economía; para lo cual es necesario un buen control en la dosificación de sus componentes.

En un proyecto siempre se debe de considerar los estados de solicitación a los que se va a someter el concreto, que es responsabilidad del Ingeniero Civil, y es necesario tomar en cuenta las propiedades mecánicas.

2.2. NATURALEZA DEL CONCRETO

2.2.1. DEFINICIÓN DE CONCRETO

El concreto es definido en la terminología ASTM C125 (Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates) como un material compuesto que consiste en un medio de enlace dentro del cual se embeben partículas o fragmentos de agregado (Carino, 1994). Para ello se utiliza un cemento hidráulico, agua, triturado y arena (ASTM 1994).

El concreto es un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado. La pasta es el resultado de la combinación química del material cementante con el agua. Es la fase continua del concreto dado que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto de este. El agregado es la fase discontinua del concreto dado que sus diversas partículas no se encuentran unidas o en contacto unas con otras, sino que se encuentran separadas por espesores diferentes de pasta endurecida.

Las propiedades del concreto están determinadas fundamentalmente por las características físicas y químicas de sus materiales componentes, pudiendo ser mejor comprendidas si se analiza la naturaleza del concreto.

2.2.2. IMPORTANCIA DEL CONCRETO

Actualmente el concreto es el material de construcción de mayor uso en nuestro país. Si bien la calidad final del concreto depende en forma muy importante del conocimiento del material y de la calidad profesional del ingeniero, el concreto es, en general, desconocido en muchos de sus siete grandes aspectos: naturaleza, materiales, propiedades, selección de las proporciones, proceso de puesta en obra, control de calidad e inspección, y

mantenimiento de los elementos estructurales [Ing. ENRIQUE RIVVA LOPEZ, Naturaleza y Materiales del Concreto (2000)].

La principal limitación a las múltiples aplicaciones que se pueden dar al concreto es el desconocimiento de alguno de los aspectos ya indicados; así como de la mayor o menor importancia de los mismos de acuerdo al empleo que se pretende dar al material. Ello obliga al estudio y actualización permanentes para obtener del concreto las máximas posibilidades que como material puede ofrecer al Ingeniero.

2.2.3. REQUISITOS DE LAS MEZCLAS

Las mezclas de concreto deberán cumplir con los siguientes requisitos básicos:

a. La mezcla recién preparada deberá tener la trabajabilidad, consistencia y cohesividad que permitan su adecuada colocación en los encofrados. Esta mezcla deberá estar libre de segregación y tener una exudación mínima.
b. La mezcla endurecida deberá tener las propiedades especificadas en función del empleo que se va a dar a la estructura.
c. El costo de la unidad cúbica de concreto endurecido deberá ser el mínimo compatible con la calidad deseada.

2.2.4. COMPOSICIÓN DEL CONCRETO

El concreto endurecido se compone de:

a. Pasta
b. Agregado

2.2.4.1. LA PASTA

2.2.4.1.1. ELEMENTOS FUNDAMENTALES

Aquella parte del concreto endurecido conocida como pasta comprende a cuatro elementos fundamentales:

a. El gel, nombre con el que se denomina al producto resultante de la reacción química e hidratación del cemento.

b. Los poros incluidos en ella.
c. El cemento no hidratado, si lo hay.
d. Los cristales de hidróxido de calcio, o cal libre, que puedan haberse formado durante la hidratación del cemento.

Estos cuatro elementos tienen un papel fundamental en el comportamiento del concreto.

2.2.4.1.2. FUNCIONES DE LA PASTA

La pasta tiene cuatro grandes funciones en el concreto:

a. Contribuir a dar las propiedades requeridas al producto endurecido.
b. Separar las partículas de agregado.
c. Llenar los vacíos entre las partículas de agregado y adherirse fuertemente a ellas.
d. Proporcionar lubricación a la masa cuando ésta aún no ha endurecido.

2.2.4.1.3. PROPIEDADES DE LA PASTA

Las propiedades de la pasta dependen de:

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

2.2.4.1.4. INFLUENCIA DE LA PASTA EN EL CONCRETO

Sin desconocer el papel fundamental que tiene el agregado en las características finales del concreto, el comportamiento de éste como material de construcción está directamente influenciado por las características de la pasta y propiedades finales de ella.

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

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

influencia de la pasta en el concreto [Ing. ENRIQUE RIVVA LOPEZ, Naturaleza y Materiales del Concreto (2000)].

2.2.4.2. EL GEL

Se define como gel a la parte sólida de la pasta, la cual es el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación [Ing. ENRIQUE RIVVA LOPEZ, Naturaleza y Materiales del Concreto (2000)].

En su estructura el gel es una aglomeración porosa de partículas sólidamente entrelazadas, en su mayoría escamosas o fibrosas, el conjunto de las cuales forma una red eslabonada que contiene material más o menos amorfo.

En su composición el gel comprende:

a. La masa cohesiva de cemento hidratado en su estado de pasta más densa.
b. Hidróxido de calcio cristalino.
c. Poros Gel.

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

2.2.4.3. HIDRATACIÓN Y CURADO DEL CONCRETO

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

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

2.2.4.4. POROSIDAD DE LA PASTA

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 [Ing. ENRIQUE RIVVA LOPEZ, Naturaleza y Materiales del Concreto (2000)].

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

a. Poros por aire atrapado.
b. Poros por aire incorporado.
c. Poros capilares.
d. Poros gel.

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.

2.2.4.5. EL AGREGADO

2.2.4.5.1. CONCEPTO

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la Norma NTP 400.011. Los agregados son la fase discontinua del concreto.

Ellos son materiales que están embebidos en la pasta y ocupan entre el 62% y el 78% de la unidad cúbica del concreto.

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

2.2.4.5.2. CLASIFICACIÓN

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

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

Se define como agregado grueso a aquel que queda retenido en el Tamiz N° 4 y es proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas. El agregado grueso suele clasificarse en grava y piedra triturada o chancada. La grava es el agregado grueso proveniente de la disgregación y abrasión natural de materiales pétreos. Se le encuentra generalmente en canteras y lechos de ríos depositado en forma natural. La piedra chancada, o piedra triturada, es el agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas y gravas. Se define como hormigón, o agregado integral, al material conformado por una mezcla de arena y grava. Este material, mezclado en proporciones arbitrarias se da en forma natural en la corteza terrestre y se le emplea tal como se le extrae de la cantera.

Este tema tendrá un mayor enfoque más adelante en la investigación, por lo que no se profundizara en el tema en esta sección.

2.2.5. TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO

2.2.5.1. PREFRAGUADO

En el prefraguado las fases sólidas se encuentran desconectadas o bien conectadas mediante fuerzas de Van der Waals, con lo que la mezcla se comporta como un líquido viscoso-plástico. En ese momento, puede considerarse que las partículas sólidas se encuentran aisladas; presentando los poros existentes una total continuidad. Conforme va teniendo lugar la hidratación, la fracción conectada aumenta gradualmente, hasta que se alcanza el umbral de percolación asociado a un grado de hidratación crítico.

Las relaciones agua/cemento mayores que 0.6 se siga manteniendo una fracción de poros interconectada es que, en estos casos, no hay suficiente conglomerante de inicio que

proporcione la cantidad de productos de hidratación necesaria para interrumpir la continuidad de la red de poros capilares.

En la fase sólida poco a poco va aumentando el crecimiento aleatorio de productos de hidratación, con lo que en algunos puntos comienzan a establecer contacto entre sí, especialmente debido a la formación de C-S-H. Es por ello, que el desarrollo de ésta fase determina la rigidez de la pasta. A su vez, la relación entre la porosidad capilar y la fracción de huecos conectada es independiente de la relación agua/cemento. Según esto, la porosidad capilar de un hormigón con una relación agua/cemento baja, a edades tempranas, es equivalente a la porosidad de un hormigón con una relación agua/cemento alta, tras un tiempo mayor.

Cabe decir, que durante la hidratación, el tamaño de los poros y la capilaridad disminuyen por efecto del consumo de agua durante las reacciones químicas (no sólo por la hidratación de los componentes principales del clínker, silicatos y aluminatos, sino, también, por la formación de productos de hidratación secundarios como la etringita).

Al hidratarse el cemento, los productos de reacción ocupan menos espacio que los reactantes (retracción química), dado que el volumen llenado por los hidratos es de 2.2 veces el del cemento anhidro. Por otra parte, diversos investigadores han encontrado que, para el mismo grado de hidratación, el mayor tamaño y cantidad de poros corresponden a las temperaturas más altas, lo que hace pensar que a una mayor velocidad de fraguado, el sistema encuentra más dificultad para rellenar los huecos dejados por la formación de los primeros productos de hidratación.

Mientras la mezcla se mantenga fluida, la retracción química se puede absorber en cambios de volumen externos. Cuando se pasa el umbral de percolación, se forman los primeros caminos sólidos a lo largo de la masa, empezando a aumentar su rigidez y, a su vez, las burbujas de aire atrapadas en la misma se transforman en poros mayores. Esto va asociado a cambios en la tensión superficial de los sólidos, las fuerzas de repulsión de los sólidos y la trabazón mecánica entre partículas.

A este periodo también se lo denomina fraguado falso o fraguado instantáneo. El primero es temporal y se puede trabajar haciendo un mezclado continuado, pero el

fraguado instantáneo significa que la mezcla tendrá que ser desechada [María Anabela Gabalec, Tiempo de Fraguado del Hormigón (2008)].

2.2.5.2. FRAGUADO

El fraguado se caracteriza por los tiempos de fraguado, también conocidos como inicio de fraguado y fin de fraguado. Físicamente, el inicio de fraguado es el momento en que la pasta, que es una suspensión viscoelástica plástica con una pequeña resistencia al corte, pasa a ser un sólido viscoelástico - plástico con una mayor resistencia al corte; es decir, es el momento en que la mezcla deja de ser trabajable.
El fin de fraguado corresponde al momento en que comienza el endurecimiento [María Anabela Gabalec, Tiempo de Fraguado del Hormigón (2008)].

Por otra parte, el final de fraguado ocurrirá algo antes de que se produzca el máximo en la velocidad de desprendimiento de calor.

2.2.5.2.1. ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO

Amziane postuló que antes del fraguado, las presiones son hidrostáticas, siendo el tiempo de inicio de fraguado el momento en que las presiones laterales en el hormigón se hacen cero. Alternativamente, el fraguado puede ser estudiado como un proceso de percolación con las partículas de cemento interconectadas (percoladas) por los productos de hidratación. El grado crítico de percolación; es decir, el instante en que la masa deja de ser un líquido para convertirse en un sólido es del 16% de las partículas conectadas.

Sin embargo, teniendo en cuenta lo dicho acerca de la teoría de la percolación, será lógico pensar que el fraguado del hormigón dependerá, no solo de la resistencia a penetración en la pasta de cemento en un instante dado, sino también, de los factores que afecten el nivel de conectividad entre partículas y vacíos, como por ejemplo su consistencia [María Anabela Gabalec, Tiempo de Fraguado del Hormigón (2008)].

2.2.5.3. POSTFRAGUADO

Durante este período, la evolución de las propiedades mecánicas de la mezcla está íntimamente ligada al desarrollo del cuerpo poroso de la pasta de cemento endurecida, como resultado del proceso de hidratación del cemento. Además, durante el proceso de post fraguado, se producen otros fenómenos como la retracción autógena (química) y la retracción de secado, que depende también de la estructura del medio poroso.

En el momento del fraguado, se tiene una porosidad inicial formada especialmente por capilares. Ésta se verá modificada durante el post fraguado por la formación de hidratos. La porosidad final de la pasta endurecida será, entonces, función de los hidratos formados durante el post fraguado y de las condiciones en las cuales se ha encontrado el hormigón (temperatura, confinamiento, etc.) y, también, del tipo, la reología y la porosidad de dichos hidratos [María Anabela Gabalec, Tiempo de Fraguado del Hormigón (2008)].

2.2.5.4. FACTORES QUE AFECTAN EL TIEMPO DE FRAGUADO

Los factores más importantes son:

Temperatura/ clima. El aumento de la temperatura reduce el tiempo de fraguado. La disminución de la temperatura aumenta el tiempo de fraguado.

La hidratación parará cuando la temperatura esté cerca de 0°C. La exposición a la luz del sol y las condiciones ventosas también influencian el fraguado, especialmente en la superficie, en gran parte debido a los efectos de calor y refrigeración por evaporación.

Relación agua - materiales cementicios (a/mc). Una relación a/c más baja reduce el tiempo de fraguado.

Contenido de cemento/adiciones. El aumento del contenido de cemento reduce el tiempo de fraguado.

Tipo de cemento. La química del cemento afectará fuertemente el tiempo de fraguado

Aditivos químicos. Los aditivos aceleradores y retardadores se utilizan deliberadamente para controlar el tiempo de fraguado. La sobredosis de algunos reductores de agua puede dar lugar al retraso del fraguado

Tiempo de adición de los aditivos. La adición retrasada de algunos reductores de agua puede evitar la rigidización temprana o el retraso.

Mezclado. La mejora del mezclado influencia la hidratación mejorando la homogeneidad y la dispersión de los reactivos y, así, también acelera el fraguado.

2.2.5.4.1. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL FRAGUADO

El hormigón puede ser considerado como un sistema de tres fases, agua, partículas sólidas y aire. Justo después de mezclar el agua con el cemento, las partículas sólidas se encuentran desconectadas o conectadas por fuerzas de Van der Waals, con lo que el hormigón se comporta como un líquido viscoplástico cuya resistencia última depende de la fracción de volumen de sólidos. Conforme la hidratación tiene lugar, las partículas de cemento construyen puentes entre ellas (percolan), incrementando gradualmente la fracción volumétrica de sólidos e interrumpiendo la porosidad capilar, que se encuentra rellena de agua. Estos puentes generados por los productos de hidratación son mucho más fuertes que las fuerzas interparticulares de Van der Waals, que hacen que floculen existiendo un momento en el que la resistencia de la masa crece más rápidamente que la fracción volumétrica de sólidos, formando de esta manera el esqueleto sólido del hormigón. El fraguado inicial indica el momento en el cual la masa ya no puede ser vibrada debido a que se ha adquirido la resistencia suficiente en la cual puede dañar la estructura interna. Por lo tanto, el conocimiento del comportamiento de fraguado del hormigón se puede plantear los tiempos de acabado de estructuras de concreto [María Anabela Gabalec, Tiempo de Fraguado del Hormigón (2008)].

Es bien conocido que la temperatura es uno de los parámetros que más influencia tienen en el desarrollo de resistencias del hormigón: un incremento de la temperatura hará que la mezcla madure más rápidamente que cuando ésta permanece constante. Esto se debe a una aceleración de la reacción de hidratación, que es térmicamente activada. Además, la temperatura puede provocar efectos adversos en el hormigón:

- Una temperatura del hormigón demasiado elevada al inicio de la hidratación puede conducir a una pérdida permanente de resistencia.
- Grandes variaciones de temperatura pueden generar la fisuración del hormigón.

- Las heladas antes de que el hormigón haya alcanzado suficientes resistencias pueden causar pérdidas de resistencia permanentes.

Para prevenir estos daños y asegurar un funcionamiento adecuado del hormigón será necesario un conocimiento previo de los efectos de la temperatura en el fraguado de la masa.

2.2.6. PROCESO DE ENDURECIMIENTO DEL CONCRETO

En el proceso normal de rigidización y endurecimiento del concreto, desde su elaboración hasta que alcanza 12 meses de edad, se puede demarcar 3 etapas durante este lapso:

- La del concreto blando o en condición moldeable.
- La del concreto en curso de rigidización o fraguado.
- La del concreto en proceso de endurecimiento o adquisición de resistencia mecánica.

Para describir y evaluar los cambios de estado del concreto en esas tres etapas, suelen aplicarse diferentes términos y procedimientos según se indican a continuación.

En la etapa del concreto blando, el proceso de cambio se manifiesta por una disminución gradual de la fluidez y trabajabilidad con que la mezcla sale de la mezcladora, esta característica se mide de acuerdo al asentamiento (slump) se dice que esta mezcla de concreto pierde gradualmente revenimiento aunque conserva la aptitud para ser moldeada o re moldeada si se le aplica la energía de compactación necesaria. De esta manera, el final de esta etapa resulta definido por el estado del concreto en el cual ya no es moldeable.

En la etapa del fraguado la característica cuya evolución se requiere evaluar es el incremento progresivo de la rigidez del concreto, cuando este ha rebasado la condición de ser moldeable. Con bastante frecuencia, la rigidizacion del concreto en curso de fraguar se determina por medio de su resistencia a la penetración con agujas de tipo Proctor, NTP 339.082 "Método de Ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la Penetración" y ASTM C403 "Estándar Teste Method fot Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistence", y por este procedimiento se

definen convencionalmente los estados denominados de fraguado inicial y fraguado final que delimitan esta etapa.

Finalmente, en la tercera etapa es cuando en concreto, ya fraguado, inicia el proceso de verdadero endurecimiento que los conduce a la adquisición de propiedades, mecánicas y de otra índole, cuyo desarrollo suele representarse mediante la evolución de la resistencia a compresión simple del concreto, determinada en especímenes representativos a edades sucesivas.

En circunstancias ordinarias, que no involucran condiciones extremas de temperatura, la primera etapa suele durar alrededor de dos horas, la segunda entre 2 y 10 horas; y la tercera varios meses incluso años. Esto es, el concreto se rigidiza y fragua normalmente antes que transcurra las primeras doce horas desde que se mezcla, y una vez fraguado comienza a endurecer conforme a un proceso continuo que puede durar mucho tiempo.

En la práctica, el diseño estructural se realiza con base en una determinada resistencia mecánica del concreto y se especifica la edad a la que se debe lograr esta resistencia, en función del tiempo previsto para que el concreto en la estructura deba soportar los esfuerzos de diseño. La mayoría de veces, la resistencia de diseño del concreto se considera a compresión en cuanto a la edad específica, lo usual es que sea de 28 días considerando que en este lapso el concreto adquiere cerca del 80% de resistencia potencial.

De conformidad con ello, es permisible suponer que para fines de su funcionamiento estructural el concreto se puede considerar endurecido desde que adquiere la resistencia mecánica (normalmente a compresión) que le permite soportar los esfuerzos de diseño con el factor de seguridad previsto; y esto debe acontecer a partir de la edad en que se especifique la obtención de la resistencia de diseño, a menos que se utilicen medios para acelerar el endurecimiento del concreto y anticipar el logro de esta resistencia.

Es sin embargo pertinente hacer notar que el uso de la resistencia mecánica del concreto como índice general de su aptitud para prestar un buen servicio permanentemente, no siempre es acertado porque hay ocasiones en que pueden ser más importantes otras características y propiedades del concreto, de acuerdo con las condiciones específicas en

que opera la estructura. Inclusive se ha dicho que la costumbre de especificar y aceptar la calidad del concreto con bases solamente en la resistencia mecánica, es una de las causas que suele originar problemas de durabilidad en las estructuras, debido a que una resistencia suficiente no siempre es garantía de una duración adecuada del concreto en servicio.

Bajo tal consideración, al concreto endurecido no solamente debe exigírsele capacidad mecánica para soportar esfuerzos, sino que además debe proveérsele de una composición idónea, que lo haga apto para resistir con éxito durante toda la vida útil de la estructura, los efectos de las acciones dañinas que en cada caso prevalezcan; y para ellas es necesario conocer anticipadamente las características de los materiales previstos para la elaboración del concreto y las condiciones de exposición en las que se deban prestar servicios las estructuras, a fin de poder adoptar las precauciones que en consecuencia procedan [Instituto de Ingeniería - UNAM, Manual de Tecnología del Concreto (1994)].

2.3. PROPIEDADES PRINCIPALES DEL CONCRETO

2.3.1. ESTRUCTURA INTERNA DEL CONCRETO

En la Fig. 1, se puede apreciar el esquema típico de la estructura interna del concreto endurecido, que consiste en el aglomerante, estructura básica o matriz, constituida por la pasta de cemento y agua, que aglutina a los agregados gruesos, finos, aire y vacíos, estableciendo un comportamiento resistente debido en gran parte a la capacidad de la pasta para adherirse a los agregados y soportar esfuerzos de tracción y compresión, así como a un efecto puramente mecánico propiciado por el acomodo de las partículas inertes y sus características propias [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

Una conclusión inmediata que se desprende del esquema mencionado, es que la estructura del concreto no es homogénea, y en consecuencia no es isotrópica, es decir no mantiene las mismas propiedades en diferentes direcciones.
Esto se debe principalmente a los diferentes materiales que intervienen, su variabilidad individual así como al proceso mismo de elaboración, en que durante la etapa en que la pasta es plástica, se posibilita el acomodo aleatorio de los diferentes componentes hasta su ubicación definitiva al endurecer.

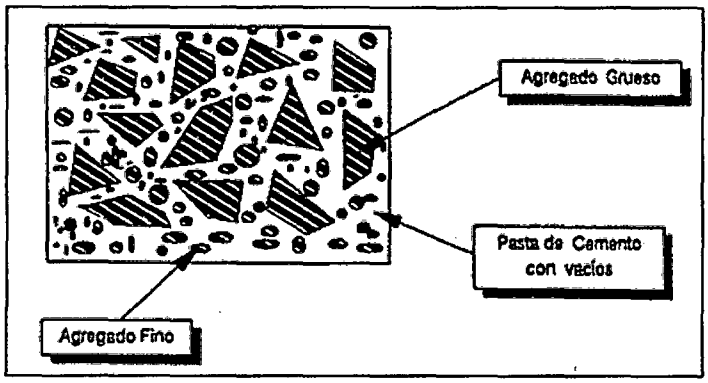


Figura 1. Esquema típico de la Estructura del Concreto Endurecido

Un aspecto sumamente importante en la estructura del concreto endurecido reside en la porosidad o sistema de vacíos. Gran parte del agua que interviene en la mezcla, sólo cumple la función de lubricante en el estado plástico, ubicándose en líneas de flujo y zonas de sedimentación de los sólidos, de manera que al producirse el endurecimiento y evaporarse, quedan los vacíos o poros, que condicionan el comportamiento posterior del concreto para absorber líquidos y su permeabilidad o capacidad de flujo a través de él.

2.3.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO FRESO

2.3.2.1. TRABAJABILIDAD

Está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, por cuanto depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

Está influenciada principalmente por la pasta, el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa.

Por lo general un concreto es trabajable en la mayoría de circunstancias, cuando durante su desplazamiento mantiene siempre una película de mortero de al menos 1/4" sobre el agregado grueso.

El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el "Slump" o asentamiento con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo debe tenerse clara la idea que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, pues es fácilmente demostrable que se pueden obtener concretos con igual slump pero trabajabilidades notablemente diferentes para las mismas condiciones de trabajo.

Para lograr una mayor aproximación a la trabajabilidad, la Reología, que es la ciencia que estudia el flujo o desplazamiento de los materiales, ha establecido los siguientes conceptos que permiten enfocar con más precisión el comportamiento reológico del concreto en estado fresco y por consiguiente su trabajabilidad.

2.3.2.1.1. ESTABILIDAD

Es el desplazamiento o flujo que se produce en el concreto sin mediar la aplicación de fuerzas externas. Se cuantifica por medio de la exudación y la segregación, evaluadas con métodos standard que permiten comparar dichas características entre varios diseños, siendo obvio que se debe buscar obtener los valores mínimos.

Es interesante notar que ambos fenómenos no dependen expresamente del exceso de agua en la mezcla sino del contenido de finos y de las propiedades adherentes de la pasta [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

2.3.2.1.2. COMPACTABILIDAD

Es la medida de la facilidad con que puede compactarse el concreto fresco. Existen varios métodos que establecen el denominado "Factor de compactación", que evalúa la cantidad de trabajo que se necesita para la compactación total, y que consiste en el cociente entre la densidad suelta del concreto en la prueba, dividido entre la densidad del concreto compactado.

En nuestro medio no es usual disponer del equipo para la prueba estándar que es británica, no obstante no es muy difícil ni caro implementarlo ya que es muy útil en cuanto a la información que suministra [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

2.3.2.1.3. MOVILIDAD

Es la facilidad del concreto a ser desplazado mediante la aplicación de trabajo externo. Se evalúa en función de la viscosidad, cohesión y resistencia interna al corte.
La viscosidad viene dada por la fricción entre las capas de la pasta de cemento, la cohesión es la fuerza de adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, y la resistencia interna al corte la provee la habilidad de las partículas de agregados a rotar y desplazarse dentro de la pasta.

Las pruebas desarrolladas en la actualidad para medir estos parámetros sólo son aplicables a nivel sofisticado en laboratorio por lo que aún está a nivel de investigación una prueba práctica para emplearse en obra, sin embargo, es importante al momento de diseñar y comparar mezclas, realizar una evaluación al menos cualitativa de estos parámetros, con objeto de acercarnos al óptimo [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

2.3.2.2. SEGREGACIÓN

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

Cuando la viscosidad del mortero se reduce por insuficiente concentración de la pasta, mala distribución de las partículas o granulometría deficiente, las partículas gruesas se separan del mortero y se produce lo que se conoce como segregación. En los concretos con contenidos de piedra > del 55% en peso con respecto al peso total de agregados, es frecuente confundir la segregación con la apariencia normal de estos concretos, lo cual es muy simple de verificar obteniendo dos muestras de concreto fresco de sitios diferentes y comparar el contenido de gruesos por lavado, que no deben diferir en más del 6% [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

2.3.2.3. EXUDACIÓN

Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto.

Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades.

Está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que la malla No 100, la exudación será menor pues se retiene el agua de mezcla.

La exudación se produce inevitablemente en el concreto, pues es una propiedad inherente a su estructura, luego lo importante es evaluarla y controlarla en cuanto a los efectos negativos que pudiera tener.

No debe caerse en el error de considerar que la exudación es una condición anormal del concreto, ni en la práctica indiscriminada usual de "secar" el concreto espolvoreando cemento en la superficie mientras aún hay exudación, ya que se origina una capa superficial muy delgada de pasta que en la parte inferior tiene una interfase de agua que la aísla de la masa original. En estas condiciones, al producirse la contracción por secado o cambios volumétricos por temperatura esta película delgada de pasta se agrieta, produciéndose el patrón de fisuración tipo panal de abeja, que los norteamericanos denominan "crazing".

Si se espolvorea cemento cuando la exudación ha terminado, integrando la pasta con la mezcla original se logra reducir la relación Agua/Cemento en la superficie con resultados positivos en cuanto a durabilidad al desgaste.

La prueba estándar para medir la exudación está definida por la norma ASTM C-232 necesitándose sólo una pipeta como equipo adicional a las balanzas, moldes y probetas graduadas que constituyen lo normal en laboratorio

2.3.2.4. CONTRACCIÓN

Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia. Ya hemos visto que la pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por combinación química, y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible.

Pero además existe otro tipo de contracción inherente también a la pasta de cemento y es la llamada contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los problemas de fisuración, dado que ocurre tanto en el estado plástico como en el endurecido si se permite la pérdida de agua en la mezcla.

Este proceso no es irreversible, ya que si se repone el agua perdida por secado, se recupera gran parte de la contracción acaecida [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

2.3.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO ENDURECIDO

2.3.3.1. ELASTICIDAD

En general, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente.

El concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación en compresión, sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un "Módulo de elasticidad estático" del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un % de la tensión última.

Conceptualmente, las mezclas más ricas tienen módulos de Elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres. La norma que establece como determinar el Módulo de elasticidad estático del concreto es la ASTM C-469.

2.3.3.2. RESISTENCIA

La resistencia mecánica del concreto endurecido ha sido tradicionalmente la propiedad más identificada con su comportamiento como material de construcción, lo cual

se ha considerado atribuido a dos principales razones: 1) en la mayoría de los casos, la resistencia mecánica (a compresión o tensión) tiene influencia directa en la capacidad de carga de las estructuras, 2) es la propiedad de su determinación pueden ser utilizados como datos índice de otras propiedades del concreto. Aunque estas razones siguen siendo válidas, es pertinente insistir en lo ya mencionado, en cuanto a la inconveniente tendencia a relacionar exclusivamente la calidad del concreto con su resistencia mecánica, mas bien, y conforme al tratamiento de aquí se le procura dar, la resistencia mecánica deber ser vista solamente como una de las diversas propiedades que el concreto endurecido requiere poseer para ser durable [Instituto de Ingeniería - UNAM, Manual de Tecnología del Concreto (1994)].

En términos generales, la resistencia mecánica que potencialmente ´puede desarrollar el concreto depende de la resistencia individual de los agregados y de la pasta de cemento endurecida, y de la adherencia que se produce entre ambos materiales, a continuación definiremos dos propiedades de interés para esta investigación.

2.3.3.2.1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia mecánica del concreto, frecuentemente se identifica con su resistencia a compresión, porque está representada la condición de carga en que el concreto exhibe mayor capacidad para soportar esfuerzos, de modo que la mayoría de las veces los elementos estructurales se diseñan con el fin de utilizar esta propiedad del concreto. Aunado a ello, existe la ventaja de que la resistencia a la compresión es la característica más fácil y confiablemente determinable en el concreto endurecido, aunque no es una propiedad tan precisamente definida como pudiera suponerse debido a un cierto número de factores y condiciones cambiantes que intervienen en su determinación; por tal motivo, es necesario reglamentar las condiciones y procedimientos para determinarla.

La determinación de la resistencia a compresión del concreto se efectúa mediante el ensayo, hasta la ruptura de especímenes representativos, con tres finalidades principalmente:

1) Comprobar si las previsiones que se hacen al diseñar una mezcla de concreto son adecuadas para cumplir con la resistencia de proyecto.

2) Controlar la uniformidad de las resistencias y ajustarlas al nivel requerido durante la producción del concreto.
3) Verificar la resistencia del concreto como se encuentra en la estructura.

En los dos primeros casos, los especímenes se elaboran tomando muestras del concreto en estado fresco, en tanto que en el último caso los especímenes se obtienen del concreto ya endurecido en la estructura.

Cuadro 1. Condiciones y procedimientos normalizados para la determinación de la Resistencia a la Compresión del Concreto

ESPECIFICACIONES , METODOS DE PRUEBA Y PRACTICAS USUALES	DESIGNACIONES	
	ASTM	NTP
Para especimenes de laboratorios: - Elaboracion y curado en laboratorio de especimenes de concretode prueba	C 192	339.183
Para especimenes en obra: - Elaboracion y curado en laboratorio de especimenes de concretode prueba	C 31	339.033
Para especimenes de laboratorio y obra: - Resistencia a compresion de cilindros de concreto colados en el lugar, en el moldes cilindricos -Obtencion y ensayo de nucleos barrenados y prismas cortados de concreto	C873 C 42	 339.059
Para uso comun en todos los casos -Moldes para colar verticalmente cilindros de concreto de prueba -Gabinetes y cuartos humedos, y tanques de almacenamiento de agua, para ensayos de cemento y concreto hidraulicos. -Cabeceo de especimenes cilindricos de concreto. -Resistencia a compresion de cilindros de concreto.	C 470 C 511 C 617 C 39	 334.077 339.037 339.034

Fuente: Manual de Tecnologia del Concreto, UNAM

Las condiciones y procedimientos de ensayos que son aplicables en cada caso, se consignan en normas que reglamentan aspectos tales como la forma y dimensiones de los especímenes, la manera de elaborarlos, curarlos, prepararlos y ensayarlos; e incluso las características de los equipos en que se ensayan los especímenes. En el cuadro 1 se incluye

una lista de las especificaciones, métodos de prueba y practicas ASTM relacionadas con la determinación de la resistencia a compresión en especímenes representativos, y se anotan las correspondientes designaciones locales (NTP) cuando estas existen. Es pertinente mencionar que también hay procedimientos indirectos para evaluar la resistencia y la homogeneidad del concreto tal como se encuentra en la estructura; estos son los llamados "Métodos no Destructivos" en los que no se requieren especímenes, salvo para su calibración, pero este tema no compete a esta investigación [Instituto de Ingeniería - UNAM, Manual de Tecnología del Concreto (1994)].

2.3.3.2.2. RESISTENCIA A TENSIÓN

El ensayo endurecido se manifiesta en los ensayos bajo carga de corta duración como un material de tendencia frágil, pues su ruptura se produce con una deformación unitaria relativamente reducida: entre 100 y 200 millonésimas a tensión y entre 2000 y 4000 millonésimas a compresión, según su grado de resistencia; y esta diferente deformación a tensión y compresión puede verse como una manifestación de lo heterogéneo de su composición que lo confiere el carácter de cuerpo anisótropo. De tal modo, al considerar que la ruptura del concreto se puede asociar a una deformación limite, resulta explicable el hecho de que su capacidad para resistir esfuerzos a tensión sea considerablemente menor a compresión.

2.3.3.3. EXTENSIBILIDAD

Es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran fisuraciones. Depende de la elasticidad y del denominado flujo plástico, constituido por la deformación que tiene el concreto bajo carga constante en el tiempo.

El flujo plástico tiene la particularidad de ser parcialmente recuperable, estando relacionado también con la contracción, pese a ser dos fenómenos nominalmente independientes.

La microfisuración aparece normalmente alrededor del 60% del esfuerzo último, y a una deformación unitaria de 0.0012, y en condiciones normales la fisuración visible

aparece para 0.003 de deformación unitaria [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

2.4. AGREGADOS PARA EL CONCRETO

Se definen los agregados como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente.
Ocupan alrededor de las 3/4 partes del volumen total (Ver Fig.4) luego la calidad de estos tienen una importancia primordial en el producto final.

La denominación de inertes es relativa, porque si bien no intervienen directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, para producir el aglomerante o pasta de cemento, sus características afectan notablemente el producto resultante, siendo en algunos casos tan importantes como el cemento para el logro de ciertas propiedades particulares de resistencia, conductibilidad, durabilidad etc. [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

Están constituidos usualmente por partículas minerales de arenisca, granito, basalto, cuarzo o combinaciones de ellos, y sus características físicas y químicas tienen influencia en prácticamente todas las propiedades del concreto.

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

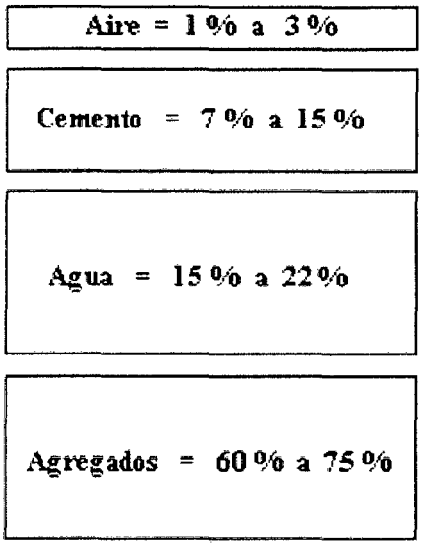


Figura 2. Proporciones Típicas en Volumen Absoluto de los Componentes del Concreto

2.4.1. IMPORTANCIA DEL AGREGADO

Como ya se mencionó el agregado influye notablemente en el concreto tanto en su estado fresco como endurecido.

Con respecto al concreto fresco la absorción es la que mayor influencia que tiene en la consistencia del concreto, puesto que las partículas absorben directamente agua de la mezcla, disminuyendo la manejabilidad, por otro lado la forma de los agregados, la granulometría de los agregados, Módulo de fineza y tamaño máximo del agregado grueso tiene incidencia sobre la trabajabilidad del concreto fresco.

Frecuentemente la variación de la resistencia del concreto puede explicarse con la variación de la relación a/c, pero las características del agregado tales como el tamaño, forma, textura, superficie y tipo de mineral, influyen en las características de la zona de transición, y por lo tanto afectan la resistencia del concreto endurecido.

La importancia de los agregados también se fundamenta en que estos resisten los cambios volumétricos que se originan por contracciones plásticas, resisten los cambios volumétricos por secado.

El Modulo de elasticidad del concreto es afectado por el Módulo de Elasticidad del agregado y por el contenido volumétrico de este en el concreto, otra característica que influye en el Módulo de Elasticidad del Concreto es la porosidad debido a que esta determina su rigidez, la forma de las partículas del agregado grueso y sus características superficiales pueden influir también en el valor del Módulo de Elasticidad del Concreto.

2.4.2. CLASIFICACIÓN

El agregado generalmente se clasifica desde distintos puntos de vista como puedes ser por su procedencia, gradación, forma y textura, densidad.

2.4.2.1. POR SU PROCEDENCIA

2.4.2.1.1. AGREGADOS NATURALES

Son los formados por los procesos geológicos naturales que han ocurrido en el planeta durante miles de años, y que son extraídos, seleccionados y procesados para optimizar su empleo en la producción de concreto.

En el Cuadro 2 se detallan las rocas y minerales que constituyen los agregados para concreto y la Norma ASTM C-294 incluye de manera muy detallada la nomenclatura estándar de los constituyentes de los agregados minerales naturales, que resulta muy útil para entender y describir adecuadamente dichos constituyentes.

Estos agregados son los de uso más frecuente a nivel mundial y particularmente en nuestro país por su amplia disponibilidad tanto en calidad como en cantidad, lo que los hace ideales para producir concreto [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

2.4.2.1.2. AGREGADOS ARTIFICIALES

Provienen de un proceso de transformación de materiales naturales, que proveen productos secundarios que con un tratamiento adicional se habilitan para emplearse en la producción de concreto.

Cuadro 2. Rocas y constituyentes minerales en agregados para concreto

MINERALES	ROCAS IGNEAS	ROCAS METAMORFICAS
SILICE	Granito	Marmol
Cuarzo	Sienita	Metacuarcita
Opalo	Diorita	Pizarra
Calcedonia	Gabro	Filita
Tridimita	Pendotita	Esquisto
Cristibalita	Pegmatita	Anfibolita
SILICATOS	Vidrio Volcanico	Hornfelsa
Feldespatos	Obsidiana	Gneiss
Ferromagnesianos	Pumicita	Serpentina
Homblenda	Tufo	**ROCAS SEDIMENTARIAS**
Augita	Escoria	Conglomerados
Arcillas	Perlita	Arenas
Ilitas	Fetsita	Cuarcita
Caolinas	Basalto	Areniscas
Mortmorillonita	**OXIDO DE HIERRO**	Piedra arcillosa
Mica	Magnetita	Piedra Aluvional
Zeolita	Hematita	Argillita y Pizarra
CARBONATOS	Geotita	Carbonatos
Calcita	Ilmenita	Calizas
Dolomita	Limonita	Dolomitas
SULFATOS		Marga
Yeso		Tiza
Anhidrita		
SULFURO DE HIERRO		
Pirita		
Marcasita		
Pirotita		

Fuente: Topicos de Tecnologia del Concreto, Enrique Pasquel Carbajal

Algunos agregados de este tipo los constituyen la escoria de altos hornos, la arcilla horneada, el concreto reciclado, la micro sílice etc. El potencial de uso de estos materiales es muy amplio, en la medida que se van investigando y desarrollando otros materiales y sus aplicaciones en concreto, por lo que a nivel mundial hay una tendencia muy marcada hacia progresar en este sentido.

En nuestro país, existen zonas como por ejemplo en la Selva donde no se dispone de agregados normales para hacer concreto y la mayor parte de las veces se tienen que improvisar soluciones que no garantizan el material resultante, por lo que es

imprescindible el empezar a ahondar en las posibilidades de desarrollar materiales artificiales en aquellas regiones, estimulando en las Universidades la investigación orientada hacia la solución técnica y económica de estos problemas [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

2.4.2.2. POR SU GRADACION

La distribución del tamaño de la partícula se llama gradación, y esta tiene suma importancia en el concreto se ha establecido convencionalmente la clasificación entre agregado grueso (piedra) y agregado fino (arena) en función de las partículas mayores y las menores de 4.75mm (malla standard ASTM #4).

2.4.2.2.1. AGREGADO FINO

Se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9.5mm (3/8") y que cumple con los límites establecidos en la norma NTP400.037.

- ***Granulometría***

  La granulometría es la distribución por tamaños de las partículas de arena, la distribución del tamaño de partículas se determina por separación con una serie de mallas normalizadas. Las mallas normalizadas para el agregado fino son las N° 4, 8, 16, 30, 50,100. En general es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los siguientes límites.

Cuadro 3. Límites de Granulometría según ASTM

MALLA	% QUE PASA (ACUMULADO)
3/8"	100
N°4	95-100
N°8	80-100
N°16	50-85
N°30	25-60
N°50	10-30
N°100	2-10

El agregado no deberá tener más de 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.

- ***Requisito de Uso***

a. El agregado fino deberá tener partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente.
b. El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias perjudiciales.
c. Debe cumplir con las normas de la granulometría
d. Se recomienda que las sustancias dañinas, no excederán los porcentajes máximos siguientes: partículas deleznables (3%); material más fino que la malla N°200 (5%).

2.4.2.2.2. AGREGADOS GRUESO

Se define al agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75mm(N°4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.037.

- ***Granulometría***

El agregado grueso deberá esta graduado dentro de los límites establecidos en la norma NTP400.037, los cuales están indicados en el siguiente cuadro.

Cuadro 4. Requerimiento de Granulometría del Agregado Grueso

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (pulg.)	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS (ASTM C33, NTP 400.037)												
		100mm (4")	90mm (3 1/2")	75mm (3")	63mm (2 1/2")	50mm (2")	37.5mm (1 1/2")	25mm (1")	19mm (3/4")	12.5mm (1/2")	9.5mm (3/8")	4.75mm N°4	2.36mm N°8	1.18mm N°16
1	3 1/2" - 1 1/2"	100	90 - 100		25 - 60		0 - 15		0 - 5					
2	2 1/2" - 1 1/2"			100	90 - 100	35 - 70	0 - 15		0 - 5					
3	2" - 1"				100	90 - 100	35 -70	0 - 15		0 - 5				
357	2" - N°4				100	95 - 100		35 - 70		10 - 30		0 - 5		
4	1 1/2" - 3/4"					100	90 - 100	20 - 55	0 - 15		0 - 5			
467	1 1/2" - N°4					100	95 - 100		35 - 70		10 - 30	0 - 5		
5	1" - 1/2"						100	90 - 100	20 - 55	0 - 10	0 - 5			
56	1" - 3/8"						100	90 - 100	40 - 85	10 - 40	0 - 15	0 - 5		
57	1"- N°4						100	95 - 100		25 - 60		0 - 10	0 - 5	
6	3/4" - 3/8"							100	90 - 100	20 - 55	0 - 15	0 - 5		
67	3/4" - N°4							100	90 - 100		20 - 55	0 - 10	0 - 5	
7	1/2" - N°4								100	90 - 100	40 - 70	0 - 15	0 - 5	
8	3/8" - N°8									100	85 - 100	10 - 30	0 - 10	0 - 5

➢ ***Tamaño Máximo, Tamaño Máximo Nominal***

En este punto requiere que se definan unos conceptos:

- Tamaño Máximo (TM) del agregado se define como la malla por donde pasa el 100% del material.
- Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado tiene dos definiciones: la primera de ellas nos dice que la malla que pasa del 100% al 95% en el que se produce el primer retenido; o es el diámetro inmediato superior a la malla que retiene el 15% o más en forma acumulada del material.

El tamaño máximo de los agregados gruesos en el concreto armado se fija por la exigencia de que pueda entrar fácilmente en los encofrados y entre las barras de la armadura.

- En ningún caso el tamaño máximo del agregado grueso deberá ser mayor que:
- Un quinto, de la menor dimensión, entre caras de encofrado.
- Un tercio de la altura de las losas.
- Tres cuartos del espacio libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, cables o ductos de preesfuerzo.

➢ ***Requisitos de Uso***

- El agregado grueso deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular o semi-angular, duras, compactas, resistentes y de textura preferentemente rugosa.
- Las partículas deben estar libres de tierra, polvo, limo, humos, escamas, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

  Se recomienda que las sustancias dañinas no excedan los porcentajes máximos siguientes: partículas deleznables (5%), material más fino que la malla N°200(1%); carbón y lignito (0.5%).

  [FLAVIO ABANTO CASTILLO, Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas)].

2.4.2.3. POR SU FORMA Y TEXTURA

Las características externas del agregado, en particular la forma de la partícula y textura superficial, influye en las propiedades del concreto fresco y endurecido. Aunque la forma de cuerpos tridimensionales es difícil de describir, es conveniente definir algunas características geométricas de dichos cuerpos.

La redondez mide la angulosidad o agudeza relativa de las orillas y las esquinas de una partícula. La redondez real es consecuente de la resistencia al desgaste y a la abrasión de la roca de origen. En el caso de agregado triturado, la forma dependerá de la naturaleza del material de origen y el tipo de triturado y su proporción de reducción.

Otro aspecto de la forma del agregado grueso es su esfericidad que se define como la función de relación del área de superficie de la partícula a su volumen (superficie especifica).Las partículas con una alta proporción del área de superficie con respecto al volumen son de partículas de interés, ya que disminuyen la manejabilidad de la mezcla. Las partículas alargadas y las escamosas son de este tipo. Las últimas pueden afectar negativamente la durabilidad del concreto, pues tienden a orientarse en un plano, en cuya parte inferior se forman huecos de aire y agua. Un exceso de más de 15 0 20% de partículas alargadas o escamosas en la masa del agregado grueso es por lo general indeseable, aunque no se han establecido limites reconocidos.

Las clasificaciones de estas partículas están descritas en el siguiente cuadro:

Cuadro 5. Clasificación de la Forma de las Partículas

CLASIFICACION DE LA FORMA DE LAS PARTICULAS		
CLASIFICACION	**DESCRIPCION**	**EJEMPLOS**
Redondeado	Completamente desgastada por agua o friccion	Grava de rio o playa, arena del desierto, de la playa o del viento
Irregular	Naturalmente irregular o parcialmente moldeado por friccion y con bordes pulidos	Otras gravas, pedernal de tierra o excavada
Escamosa	Material cuyo espesor es pequeño en relacion con las otras dimensiones	Roca laminada
Angular	Posee bordes bien definidos formados en la interseccion de las caras planas	Rocas trituradas de todos los tipos, escoria triturada
Alargada	Material angular en el que la longitud es considerablemente mayor que las otras dimensiones	
Escamosa y Alargada	Material con longitud considerablemente mayor que el ancho y considerablemente mayor que el espesor	
FUENTE: TECNOLOGIA DEL CONCRETO, A. M. Neville y J.J. Brooks		

La clasificación por textura de la superficie se basa en el grado en que la superficie de la partícula es pulida u opaca, tersa o rugosa; y el tipo de rugosidad también debe especificarse. La textura de la superficie depende de la dureza, del tamaño de grano y de las características del poro del material de origen (las rocas duras, densas y de grano fino, generalmente presentan superficies tersas con fracturas), así como del grado en que las fuerzas que actúan sobre la partícula la hayan suavizado o vuelto áspera.

Cuadro 6. Clasificación de la Textura Superficial de los Agregados

CLASIFICACION DE LA TEXTURA SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS		
TEXTURA DE SUPERFICIE	**CARACTERISTICAS**	**EJEMPLOS**
Vidriosa	Fractura Concoidal	Pedernal negro, escoria vitrea
Pulida	Desgastado por agua, o ido a fractura de laminado o roca de grano fino	Gravas, esquisto, pizarra, marmol, algunas riolitas
Granulosa	Fracturas que muestran granos uniformes mas o menos pulidos	Arenisca, oolita
Rugosa	Fracturas rugosa de roca granular fina-media que tiene constituyentes cristalinos que no se pueden ver facilmente	Basalto, felsita, porfido, caliza
Cristalina	Contiene constituyentes cristalinos facilmente visibles	Granito, grabo, gneis
Panal de abeja	Con cavidades y poros visibles	Ladrillo, pomez, escoria, espumosa, barro expandido
FUENTE: TECNOLOGIA DEL CONCRETO, A. M. Neville y J.J. Brooks		

La forma y textura de la superficie del agregado, especialmente en el agregado fino, tienen gran influencia en los requerimientos de agua de la mezcla. En términos prácticos, a mayor cantidad de espacios o huecos en un agregado poco compactado, se requiere más agua. La escamosidad y la forma del agregado grueso tienen, por lo general un efecto significativo en la manejabilidad del concreto, la cual decrece con el incremento de número de angulosidad [A. M. NEVILLE Y J. J. BROOKS, Tecnología del Concreto (1998)].

2.4.2.4. POR SU DENSIDAD

Nos referimos a densidad como la gravedad específica, es decir el peso entre el volumen de sólidos referido a la densidad del agua, se acostumbra clasificarlos en:

- Normales: Ge=2.5 a 2.75
- Ligeros: Ge<2.5
- Pesados: Ge>2.75

Cada uno de ellos muestra comportamientos diversos en relación al Concreto [ENRIQUE PASQUEL CARBAJAL, Tecnología del Concreto (1998)].

2.4.3. PROPIEDADES

2.4.3.1. PROPIEDADES MECÁNICAS

No es posible relacionar el desarrollo potencial de la resistencia del concreto con las propiedades del agregado. Sin embargo, es importante conocer la magnitud de sus propiedades mecánicas para poder evaluar la calidad de los mismos. Entre dichas propiedades tenemos:

- Adherencia
- Resistencia
- Tenacidad
- Resistencia al desgaste (Abrasión)

2.4.3.2. PROPIEDADES FÍSICAS

Varias propiedades físicas comunes del agregado, conocidas desde el estudio de la física elemental, son relevantes para el comportamiento del agregado en el concreto y para las propiedades del concreto hecho con el agregado dado. A continuación se tratan estas propiedades físicas así como su medición.

2.4.3.2.1. CONDICIONES DE SATURACIÓN

A continuación se esquematizan las condiciones de saturación, partiendo de un estado seco hasta que tiene una humedad superficial:

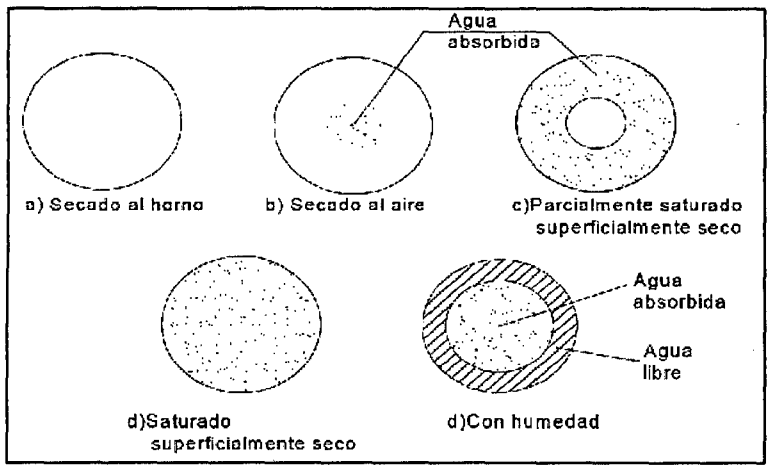


Figura 3. Estados de Saturación del Agregado

2.4.3.2.2. PESO ESPECÍFICO

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas. Las normas ASTM C127 Y C128 establecen el procedimiento estandarizado para determinación en laboratorio, distinguiéndose tres maneras de expresarlo en función de las condiciones de saturación.

Vv	Da= densidad del agua
Vp	Vs=volúmen de los solidos en las particulas Vp=volúmen de poros en las particulas. Vv= volúmen de vacios entre particulas.
Vs	Vag=volumen de agregados Vag=Vs+Vp

A=Peso de los solidos.
B=Peso del aire saturado superficialmente B=A+VpxDa
C=Peso saturado superficialmente seco sumergido en agua C=A-VsxDc

a. Peso Específico de masa seca (Gb)

Se refiere al volumen del material solido incluido todos los poros.

$$Gb = \frac{A}{B - C} = \frac{A}{Vag \times Da}$$

b. Peso Específico Saturado Superficialmente Seco (Gsss)

Se refiere al volumen del material cuando todos los poros del agregado están llenos de agua.

$$Gsss = \frac{B}{B - C} = \frac{B}{Vag \times Da}$$

c. Peso Específico Aparente (Ga)

Se refiere al volumen del material sólido, incluidos los poros impermeables, aunque no los capilares.

$$Ga = \frac{A}{A - C} = \frac{A}{Vs \times Da}$$

2.4.3.2.3. PESO UNITARIO

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre las partículas entre partículas, está influenciado por la manera en que se acomodan estas, lo que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo.

La norma ASTM C29, define el método estándar para evaluarlo, en la condición de acomodo de las partículas luego de compactarlas en un molde metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de 5/8" en 3 capas. El valor obtenido, es el que se emplea en algunos métodos de diseño de mezclas para estimar las proporciones y también para hacer conversiones de dosificaciones en peso a dosificaciones en volumen. Algunas personas aplican el mismo ensayo pero sin compactar el agregado para determinar el "peso unitario suelto", sin embargo este valor tampoco es necesariamente del material en campo.

2.4.3.2.4. PORCENTAJE DE VACIOS

Es la medida del volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregado. Depende también del acomodo entre partículas por lo que su valor es relativo como en el caso de peso unitario. La norma ASTM C29, indica la fórmula para calcularlo:

$$\%\ de\ vacios = \frac{(S \times W) - M}{S \times W}$$

Dónde:

S: Peso Específico de la masa.

W: Densidad del agua.

M: Peso Unitario compactado seco.

2.4.3.2.5. ABSORCIÓN

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente los poros indicados por que siempre queda aire atrapado.

La absorción real de agua del agregado debe deducirse del requerimiento total de agua de la mezcla, para obtener la relación efectiva de agua/cemento, que controla tanto la manejabilidad como la resistencia del concreto [ENRIQUE PASQUEL CARBAJAL, Tecnología del Concreto (1998)].

La absorción de agua se determina midiendo la disminución de masa de una muestra saturada y de superficie seca después de secarla en un horno durante 24 horas. La relación de la disminución de masa respecto a la masa de muestra seca, expresada como porcentaje, se denomina absorción.

$$\%\ Absorcion = \frac{Psss - Pseco}{Pseco}$$

2.4.3.2.6. POROSIDAD

Es el volumen de espacios dentro de las partículas de agregados. Los tamaños de los poros en el agregado varían en un amplio rango hasta los más pequeños son mayores que los poros de gel en la pasta de cemento. Algunos poros del agregado están totalmente dentro de la partícula, pero otros se abren en la superficie, de modo que el agua puede penetrar en ellos; la cantidad y la proporción de la penetración dependen del tamaño, de la continuidad y del volumen de poros. El grado de porosidad de las rocas comunes varia de 0 a 5%; puesto que el agregado representa aproximadamente tres cuartas partes del volumen

de concreto, es claro que la porosidad del mismo contribuye a la porosidad general del concreto [A. M. NEVILLE Y J. J. BROOKS, Tecnología del Concreto (1998)].

2.4.3.2.7. HUMEDAD

Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas del agregado. El contenido de humedad debe permitirse en el cálculo de series de cantidades y del requerimiento total de agua de las mezcla. La humedad se expresa de la siguiente manera según ASTM C566.

$$\%Humedad = \frac{Peso\ original\ de\ la\ muestra - Peso\ seco}{Peso\ seco}$$

2.4.3.3. PROPIEDADES TÉRMICAS

Hay tres propiedades térmicas que pueden influir en el desempeño del concreto: el coeficiente de expansión térmica, el calor específico y la conductividad.

2.4.3.4. PROPIEDADES QUÍMICAS

Los agregados son en general sumamente resistentes al ataque de agentes químicos, siendo importante establecer que cualquier agresión de este tipo debe ser en forma de solución para que tenga la posibilidad de surtir algún efecto [ENRIQUE PASQUEL CARBAJAL, Tecnología del Concreto (1998)].

Los agregados que contienen ciertos constituyentes pueden reaccionar con los hidróxidos alcalinos en el concreto. La reactividad es potencialmente perjudicial solo cuando produce una expansión significativa. Esta reacción álcali agregado se presenta en dos formas, reacción álcali-sílice (RAS) y reacción álcali-carbonato (RAC). La RAS es más preocupante que la RAC por que la ocurrencia de agregados que contiene minerales reactivos de sílice es más común. Los agregados de carbonatos reactivos con álcalis tienen una composición específica que no es muy común.

Cuadro 7. Minerales, rocas y materiales sintéticos que pueden ser potencialmente reactivos con los álcalis del cemento

REACCION ALCALI - SILICE		REACCION ALCALI - CARBONATO
Andesitas	Pizarraz opalinas	Dolomitas calciticas
Argillitas	Filitas	Calizas dolomiticas
Ciertas calizas y dolomitas	Cuarcita	Dolomitas de grano fino
Calcedonia	Cuarzosa	
Cristobalita	Riolitas	
Dacita	Esquistos	
Vidrio volcanico	Pizarras silisicas y ciertas otras formas de cuarzo	
Gneis granitico	Vidrio siliceo, sintetico y natural	
Opalo	Tridimita	

FUENTE: TECNOLOGIA DEL CONCRETO, A. M. Neville y J.J. Brooks

2.5. CEMENTO PORTLAND

2.5.1. DEFINICIÓN

Es un producto artificial que es obtenido por la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales asociados con sílice, alúmina y óxido de hierro los cuales son calentados a temperaturas elevadas que provocan la formación de escorias para posteriormente moler el producto resultante [A. M. NEVILLE Y J. J. BROOKS, Tecnología del Concreto (1998)], el cemento portland tiene la propiedad que al adicionársele agua y/o con arena, piedra u otros materiales similares reacciona lentamente hasta la formación de una masa endurecida [FLAVIO ABANTO CASTILLO, Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas)].

2.5.2. ELABORACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

El proceso de manufactura consiste esencialmente en moler materias primas hasta lograr un polvo muy fino, mezclarlas perfectamente en proporciones establecidas y quemarlas en un gran horno rotatorio a una temperatura aproximada de 1400°C (2550°F); el material se incrusta y se funde parcialmente hasta convertirse en escorias, cuando la escoria se enfría, se muele hasta convertirla en un polvo fino y se le agrega un poco de yeso. Este producto resultante es el cemento portland comercial que se usa en todo el mundo [A. M. NEVILLE Y J. J. BROOKS, Tecnología del Concreto (1998)].

2.5.3. TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

Cuando los cementos con diferentes composiciones químicas se hidratan, pueden tener propiedades distintas. Es posible, por tanto, seleccionar mezclas de materias primas para la producción de varios tipos de cemento, según las propiedades requeridas. En Cementos YURA S.A. se producen Cementos Tipo I, Tipo II, Tipo V, Tipo IP y Tipo IPM los cuales se procederán a definir en la clasificación.

2.5.3.1. CEMENTOS PORTLAND

Los cementos portland, se fabrican en cinco tipos las cuales se han normalizado bajo la especificación de la norma ASTM C150.

- TIPO I: para uso general en la construcción, es el que más se emplea para fines estructurales cuando no se requieren de las propiedades especiales especificadas para los otros cuatro tipos de cemento.
- TIPO II: y se emplea cuando se prevé una exposición moderada al ataque por sulfatos o cuando se requiere un moderado calor de hidratación.
- TIPO III: recomendable cuando se necesita una resistencia temprana en una situación particular de construcción.
- TIPO IV: Cemento de bajo calor de hidratación.
- TIPO V: Es el cemento del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos.

Cuadro 8. Valores promedio típicos de la composición de los componentes de cemento portland de diferentes tipos.

COMPOSICION DE LOS COMPONENTES, PORCENTAJES								
CEMENTO	**C_3S**	**C_2S**	**C_3A**	**C_3AF**	**$CaSO_4$**	**Ca LIBRE**	**MgO**	**PERDIDA EN ENSENDIDO**
TIPO I	59	15	12	8	2.9	0.8	2.4	1.2
TIPO II	46	29	6 (8 max.)	12	2.8	0.6	3	1
TIPO III	60	12	12 (15 max.)	8	3.9	1.3	2.6	1.9
TIPO IV	30 (35 max.)	46 (40 min.)	5 (7 max.)	13	2.9	0.3	2.7	1
TIPO V	43	36	4 (5 max.)	12	2.7	0.4	1.6	1
Fuente: Tecnologia del Concreto, A. M. Neville y J.J. Brooks								

2.5.3.2. CEMENTOS PORTLAND ADICIONADOS

Se encuentra vigente la nueva norma de requisitos para cementos Portland adicionados, NTP 334.090, que reúne las normas anteriormente dictadas para los cementos Portland puzolánicos, de escoria y compuestos. Esta norma guarda armonía con la normalización internacional y en especial con la norma ASTM C 595. Los cuales son el Cemento Portland Tipo IP, IPM, IS, ISM, P y ICo.

Cuadro 9. Requisitos Químicos

COMPOSICION QUIMICA	TIPOS DE CEMENTO		
	IS, I(SM)	**IP, P, I(PM)**	**I Co**
Oxido de magnesio (MgO), %max	-	6	6
Azufre como Trioxido de Azufre, SO3 %max	3	4	4
Azufre (S), %max	2	-	-
Residuo Insoluble, %max	1	-	-
Perdida de Ignicion, %max	3	5	8
Fuente: Tecnologia del Concreto, A. M. Neville y J.J. Brooks			

2.5.4. MECANISMO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO

Se denomina hidratación al conjunto de reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, que llevan consigo el cambio del estado plástico al endurecido, con las propiedades inherentes a los nuevos productos formados.

El primer elemento en reaccionar es el Aluminiato Tricalcico (C3A), y posteriormente los silicatos y el Aluminoferrita tricalcica (C4AF), caracterizándose el proceso por la dispersión de cada gramo de cemento en millones de partículas. La acción del yeso contrarresta la velocidad de las reacciones y en estado se produce lo que se denomina el periodo latente o de reposo en que las reacciones se atenúan, y dura entre 40 y 120 minutos dependiendo de la temperatura ambiente y el cemento en la partícula. En este estado se forma hidróxido de calcio que contribuye a incrementar notablemente la alcalinidad de la pasta que alcanza un Ph del orden de 13 [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

2.5.4.1. FRAGUADO INICIAL

Condición de la pasta de cemento en que se aceleran las reacciones químicas, empiezan el endurecimiento y la perdida de la plasticidad, midiéndose en términos de la resistencia a deformarse.

Es la etapa en que se evidencia el proceso exotérmico donde se genera el ya mencionado calor de hidratación, que es consecuencia de las reacciones químicas descritas [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

2.5.4.2. FRAGUADO FINAL

Se obtiene al término de la etapa de fraguado inicial, caracterizándose por endurecimiento significativo y deformaciones permanentes. La estructura del gel está constituida por el ensamble definitivo de sus partículas endurecidas [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

2.5.4.3. ENDURECIMIENTO

Se produce a partir del fraguado final y es el estado en que se mantiene e incrementa con el tiempo las características resistentes. La reacción predominante es la hidratación permanente de los silicatos de calcio, y en teoría continua de manera indefinida.

El estado final de la pasta, en que se evidencian totalmente las influencias de la composición del cemento. Los sólidos de hidratación manifiestan su muy baja solubilidad

por lo que el endurecimiento es factible aún bajo el agua [Ing. ENRIQUE PASQUEL, Tópicos de Tecnología de Concreto (1999)].

2.5.5. PROPIEDADES FISICAS DEL CEMENTO

2.5.5.1. TIEMPO DE FRAGUADO

El tiempo de fraguado de una pasta de cemento varía de acuerdo a factores como temperatura, proporción de agua - cemento, tipo de cemento y aditivos añadidos. Para establecer un procedimiento estándar se escoge la proporción de agua - cemento resultante de la prueba de consistencia normal del cemento, no se incluyen aditivos y las demás condiciones se mantienen constantes.

El método a ser utilizado es el del aparato Vicat. Esto es una designación arbitraria de tiempo de fraguado. El fraguado inicial se produce cuando la aguja de 1 mm. de diámetro penetra 25 mm. y se toma la primera lectura de penetración, se repite el mismo procedimiento de 1 a 4 horas con un mínimo especificado de 45 minutos. Esta condición es aquella donde se ha perdido la plasticidad de la mezcla [Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2006)].

2.5.5.2. CALOR DE HIDRATACIÓN

El concreto genera calor durante su endurecimiento como resultado del proceso químico por el cual el cemento reacciona con el agua para formar una pasta dura y estable. El calor generado se denomina calor de hidratación; varía en cantidad y en velocidad según los distintos cementos. El calor de hidratación resulta particularmente útil en el mezclado a bajas temperaturas ya que a menudo genera el calor suficiente para suministrar una temperatura de curado sin que sean necesarias otras fuentes de calor, particularmente en elementos de mayor masa.

El concreto deberá entregarse a una temperatura adecuada y se deberá tener en cuenta la temperatura de los moldajes, del acero de refuerzo, del terreno o del concreto sobre el cual se desee mezclar.

No se debe mezclar sobre terreno congelado o sobre concreto congelado.

El calor liberado durante la hidratación compensará en parte la pérdida de calor durante la colocación, el acabado y las operaciones tempranas de curado.

2.5.5.3. FALSO FRAGUADO

Eventualmente, el cemento puede experimentar un endurecimiento prematuro al ser mezclado con agua para constituir la pasta de cemento.
Este proceso parece provenir de un comportamiento anómalo del yeso adicionado al cemento en la etapa de molienda del clínker como regulador de su fraguado, el cual, debido a las altas temperaturas originadas durante la molienda, puede perder parte del agua de cristalización.

El agua perdida es recuperada, extrayéndola del agua de amasado del concreto, con lo cual el yeso cristaliza, adquiriendo rigidez.
Este endurecimiento se conoce con el nombre de falso fraguado y produce una rigidización del concreto aún en estado fresco, en los primeros minutos posteriores a la adición del agua de amasado, lo cual dificulta grandemente su manipulación en los procesos de transporte, colocación y compactación.

Para evitar estos efectos desfavorables, un procedimiento efectivo consiste en aumentar el tiempo de amasado, lo que permite romper la cristalización producida y devolver al concreto la plasticidad perdida sin necesidad de adición de agua [LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCION, Manual de Laboratorio (2005)]

2.5.5.4. PESO ESPECÍFICO

El peso específico expresa la relación entre la muestra de cemento y el volumen absoluto.
Fórmula:

$$\rho = m / V_{absoluto}$$

Donde:

m = muestra del cemento.

V absoluto = Volumen de la materia sólida.

El peso específico del cemento debe estar entre 3.10 a 3.15 gr/cm³. El valor del peso específico no indica la calidad de un tipo de cemento, sino que su valor es usado para el diseño de la mezcla. Con el valor del peso específico se pueden encontrar otras características del concreto.

Se puede decir a manera de conclusión de que el cemento utilizado en el laboratorio, es un cemento adicionado. Un bajo valor de densidad absoluta nos indica poca presencia del clinker y alta de yeso o puzolana.

2.5.5.5. SUPERFICIE ESPECÍFICA

La finura se define como la medida, tamaño o cantidad de área expuesta al contacto con el agua en una determinada masa de cemento; se expresa en [cm²/gr] a la cual llamamos superficie de contacto o superficie especifica; esto se refleja en el proceso de hidratación del cemento ya que a mayor superficie de contacto mejor y más rápido es el tiempo de fraguado.

Entre más fino sea el cemento más rápido es el contacto con el agua. Entre mayor sea la superficie de contacto mayor es la finura del cemento. En 28 días un cemento ha cumplido el 90% de su hidratación, el otro 10% puede tardar años [LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCION, Manual de Laboratorio (2005)].

2.5.6. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CEMENTO

Las materias primas del término del proceso de obtención, forman una serie de compuestos químicos, que determinan un estado de equilibrio químico, estos componentes son los siguientes:

2.5.6.1. COMPONENTES PRINCIPALES DEL CEMENTO

- ***FERROALUMINATO TETRACÁLCICO (C4AF)***

El C4AF se compone de 46.1% de cal, 21% de alúmina y 32.9% de óxido de hierro. También es denominada celita clara o ferrito. Este compuesto presenta un calor de hidratación de 100 cal/gr. y una alta estabilidad química, los cementos ricos en este compuesto tiene condiciones de empleo específicas en todos aquellos casos en que importe

la durabilidad frente a los agresivos químicos que las resistencias mecánicas. Los Ferro aluminatos tricálcicos tiene trascendencia en la velocidad de hidratación.

- ***ALUMINATO TRICÁLCICO (C3A)***

El C3 A se compone de 62.3% de cal y 37.7% de alúmina. Este compuesto presenta un color oscuro, después de los álcalis los aluminatos son los compuestos que primero reaccionan con el agua. Su velocidad de fraguado ocurre a una velocidad de hidratación muy alta, hasta el punto de ser casi instantáneo, es por esta razón que la adición de sulfato de calcio (CaSO4) (3% - 6%) al clinker, se hace necesario para controlar esta velocidad de hidratación.

El calor de hidratación desarrollada por este compuesto es muy elevado la cual se estima en 207 cal/gr.

El aluminato tricálcico es muy sensible a la acción química de las aguas que contengan sulfatos y cloruros debido a la formación de sales del tipo cloroaluminatos y sulfoaluminatos, la formación de estas sales tienen lugar de carácter expansivo, pudiendo originar desintegración de las estructuras y agrietamientos. Se recomienda un contenido máximo de aluminato tricálcico de 7%.

- ***SILICATO TRICÁLCICO (C3S)***

También llamado alita, es la fase principal en la mayoría de los clinkeres Pórtland y se compone de 73.7% de cal y 26.3% de calcio silícico. Este compuesto presenta cristales poligonales bien formados con dimensiones que varían según el grado de cristalización, siendo bien desarrollados cuando la cocción ha tenido lugar a temperatura suficiente elevada y durante tiempo, así como en presencia de una cantidad adecuada de la fase liquida.

El silicato tricálcico contribuye de manera muy importante a las resistencias iniciales, siendo su velocidad de hidratación alta, así también desarrolla un alto calor de hidratación (120 cal/gr.). Experimentalmente se ha comprobado que los concretos elaborados con cementos con mayor porcentaje de C3 S presentan una mejor acción a los ciclos de hielo-deshielo.

Se recomienda su uso en zonas de climas fríos dado su alto calor de hidratación, sin embargo no en construcciones masivas por la baja estabilidad volumétrica que pueden producir.

- ***SILICATO BICÁLCICO (C2S)***

También denominado belita es la segunda fase en importancia en el clinker, y se compone de 65.1% de cal y 34.9% de ácido silícico. Este compuesto presenta cristales relativamente anchos, de contornos redondeados y tamaño variable. El C2 S tiene una lenta velocidad de hidratación y un bajo desarrollo de calor de hidratación (62 cal/gr.). Dada su lenta velocidad de endurecimiento, la contribución del C2 S a las resistencias iniciales es muy pequeña; siendo su efecto posterior la fuente principal de resistencia. Su estabilidad química es bastante buena, por lo que el uso de cementos con alto contenido de C2 S en la producción de concretos resistente a los sulfatos es muy recomendable.

2.5.6.2. COMPONENTES SECUNDARIOS DEL CEMENTO

- Oxido de Magnesio. . . . . MgO
- Oxido de Potasio y Sodio. . . . . K2O, Na2 O
- Óxidos de Manganeso y Titanio. Mn2O3, TiO2

2.5.7. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL CEMENTO YURA IP

Para el desarrollo de la presente investigación se decidió utilizar el cemento Pórtland YURA IP, por ser el cemento más comercial y de mayor uso en la ciudad de Arequipa.

Cuadro 10. Características químicas del Cemento YURA IP

COMPUESTO	PORCENTAJE (%)
Dióxido de Silicio + RI (SiO2+Ri)	27.72
Oxido de Aluminio, Al2O3	3.97
Oxido de Ferrico, Fe2O3	3.41
Oxido de Calcio, CaO	64.90
Oxido de Magnesio, MgO	2.21
Dióxido de Silicio + RI (SiO2+Ri)	27.72
Oxido de Aluminio, Al2O3	3.97

P. Espec. Cemento Yura Tipo IP = 3.11 gr/cm^3

2.6. AGUA

El agua es un elemento fundamental en la preparación del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido. La influencia vital de la cantidad de agua de la mezcla de concreto, también es importante la calidad de agua, ya que las impurezas que contenga pueden interferir el endurecimiento del cemento, afectar negativamente la resistencia del concreto u ocasionar manchado de su superficie, así como llevar la corrosión en el refuerzo. Por estas razones debe evaluarse su conveniencia para fines de mezclado y curado [FLAVIO ABANTO CASTILLO, Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas)].

2.6.1. AGUA EN EL CONCRETO

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

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

En muchas especificaciones, la calidad de agua se considera en una cláusula que establece que esta debe ser apta para beber. El criterio de potabilidad del agua no es absoluto: el agua para beber puede no ser adecuada para la mezcla cuando tenga concentración alta de sodio o potasio, por el peligro de una reacción álcali – Agregado.
El agua potable es por lo general segura, pero también la no potable puede ser adecuada para la elaboración de concreto. Como regla, cualquier agua con un PH de 6 a 8 que no sepa salada o salobre es útil; el color oscuro o un cierto olor no indican necesariamente la presencia de sustancias deletéreas. Las aguad naturales ligeramente acidas son inofensivas, pero las que contengan acido húmico u otros ácidos orgánicos pueden afectar negativamente el endurecimiento del concreto; estas aguas, así como las alcalinas, deben ser probadas previamente [A. M. NEVILLE Y J. J. BROOKS, Tecnología del Concreto (1998)].

2.6.2. REQUISITOS PARA SU USO

Curiosamente, ni el ACI ni el ASTM establecen requisitos para el agua de mezcla para concreto, sin embrago en una iniciativa la norma nacional NTP 339.088 si establece requisitos para el agua de mezcla y curado que se detallan en el cuadro 11.
Los valores establecidos en la tabla son algo conservadores, pero son relativamente fáciles de cumplir en la mayoría de los casos.

Cuadro 11. Límites permisibles para el agua de mezcla y de curado según NTP 339.088

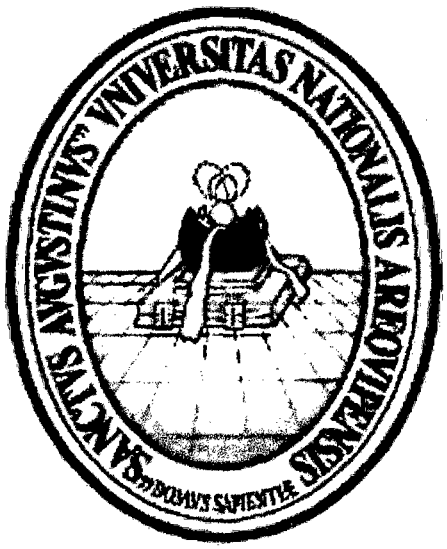
SUSTANCIAS DISUELTAS	VALOR MAXIMO ADMISIBLE
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles	1500 ppm
P. H.	Mayor de 7
Solidos en suspencion	1500 ppm
Materia organico	10 ppm
Fuente: Tecnologia del Concreto, A. M. Neville y J.J. Brooks	

El agua a emplearse en la preparación de concreto, deberá ser limpia y estará libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero.
También deberá hacerse un ensayo de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días, preparando testigos de agua destilada o potable y con el agua cuta calidad se quiere evaluar, considerándose como satisfactorias aquellas que arrojen una resistencia mayor o igual al 90% que concretos preparados con agua potable o destilada [FLAVIO ABANTO CASTILLO, Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas)].

2.6.3. AGUA PARA CURADO

En general, el agua que es adecuada para la mezcla también lo es para el curado, sin embargo el hierro y la materia orgánica pueden ocasionar manchas, especialmente si el agua fluye lentamente sobre el concreto y se evapora con rapidez. En algunos casos la decoloración es insignificante y cualquier adecuada para mezcla, incluso de calidad

ligeramente menor, es adecuada para el curado. Sin embargo es esencial que esté libre de sustancias que ataquen al concreto endurecido, por ejemplo CO2 libre. El fluir de agua pura, proveniente de deshielo o de condensación, con poco CO2, disuelve el Ca(OH)2 y provoca erosión de la superficie. El curado con agua de mar puede atacar el refuerzo [A. M. NEVILLE Y J. J. BROOKS, Tecnología del Concreto (1998)].



CAPITULO III

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES A ENSAYAR

CAPÍTULO III

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES A ENSAYAR

3.1. AGREGADOS PARA EL CONCRETO

3.1.1. AGREGADO GRUESO

El agregado grueso consiste en una grava o combinación de gravas proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas, es aquel retenido en el tamiz NTP 4.75 mm (N°4). Está conformado por partículas cuyo perfil sea preferentemente angular o semiangular, de textura preferentemente rugosa.

Se define como agregado grueso, grava o combinación de garbas a aquel proveniente de la desintegración natural y/o artificial de rocas, que es retenido por la malla N°4 (4.75mm) y que cumpla con los límites establecidos en la norma NTP 400.037 (ASTM C-33).

La función del Agregado Grueso es la de otorgar resistencia al concreto, los análisis de compacidad han estimado que aquellos agregados mal graduados y redondeados producen un mayor numero de vacíos en el concreto, por lo que se recomienda el uso de agregados bien graduados (variedad de tamaños) y angulosos, ya que presentan mayor acomodo y mejor compacidad.

3.1.1.1. MUESTREO

Según La Norma Técnica Peruana NTP 400.010 se establece los procedimientos del muestreo del agregado grueso y del agregado fino para los siguientes propósitos:

- Aceptación o rechazo de los materiales.
- Control en la fuente de abastecimiento.
- Investigación preliminar de la fuente potencial de abastecimiento.
- Control de las operaciones en el sitio de su utilización.

3.1.1.1.1. NORMAS

NTP 400.010

ASTM D-75

3.1.1.1.2. FUENTE DE ABASTECIMIENTO

Como fuente de abastecimiento del agregado grueso se tomó en cuenta una de las canteras de mayor demanda en la ciudad de Arequipa: "CANTERA LA PODEROSA S.R.L." A fin de que la presente investigación tenga un mayor alcance en la ciudad de Arequipa.

El agregado grueso que se utilizara de esta cantera es la piedra chancada (mecanizada) de TMN ¾" cuyo control de calidad está establecido por la NTP 400.037 y garantizado por la empresa proveedora (CONCRETOS SUPERMIX).

Para la protección del material se optó por una cubierta plástica a fin de evitar cualquier contaminación posible.

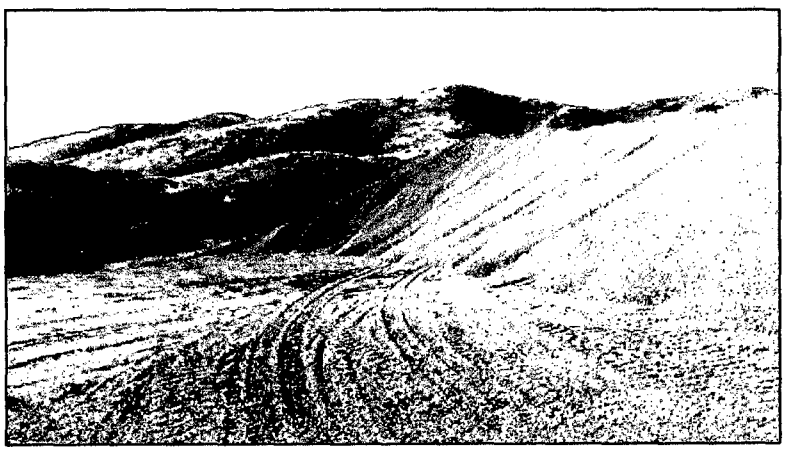


Figura 4. Fuente de Abastecimiento de Agregado Grueso - Cantera "La Poderosa".

3.1.1.1.3. EQUIPOS

- ✓ Protección plástica (saco)
- ✓ Carretilla
- ✓ Lampa
- ✓ Bandejas

3.1.1.1.4. MUESTREO

Para realizar el muestreo del agregado grueso, se obtendrá tres porciones de material aproximadamente iguales, se tomara la muestra de la parte inferior, media y superior de la pila. Estas porciones se combinaran para formar una muestra de campo.

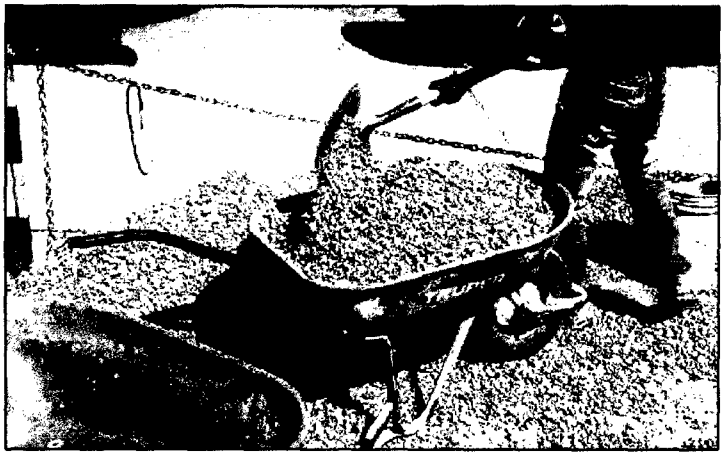


Figura 5. Muestreo del Agregado Grueso.

3.1.1.1.5. CUARTEO

Para lograr uniformidad en la muestra deberá mezclarse bien la muestra, luego se procede a ejecutar la reducción o cuarteo del material, la cual se hace sobre una superficie limpia, plana y cubierta con una protección plástica a fin de evitar pérdidas de material y contaminación de la misma.

Con el total de material se forma una pila cónica y con ayuda de la lampa se quita el material de la misma y se forma otra pila, este proceso se repite tres veces. En seguida se aplana el material hasta tener un espesor uniforme, para luego dividirla en 4 partes iguales, de estas se toman dos partes opuestas para realizar los ensayos correspondientes que se detallaran en los siguientes acápites de la tesis.

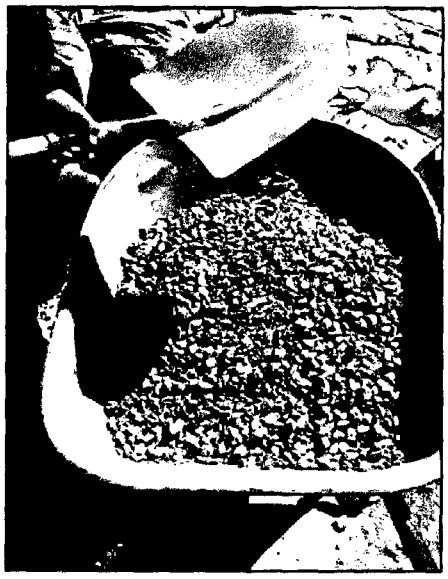


Figura 6. Toma de material para el cuarteo del Agregado Grueso.

Figura 7. Distribución uniforme del agregado grueso previo al cuarteo.

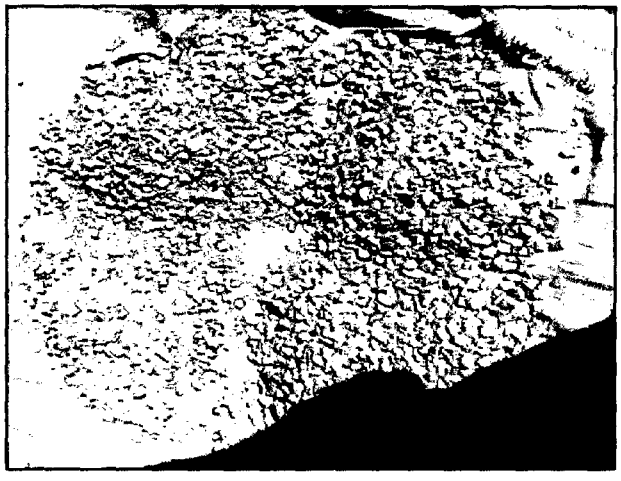


Figura 8. Cuarteo del agregado grueso.

3.1.1.2. GRANULOMETRÍA

3.1.1.2.1. NORMAS

NTP 400.012

NTP 400.037

ASTM C136

ASTM C33

3.1.1.2.2. MARCO TEÓRICO

Se denomina granulometría o análisis granulométrico a la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños. Esta granulometría se determina haciendo pasar una muestra representativa de agregados por una serie de tamices ordenados por el tamaño de abertura, de mayor a menor de acuerdo con la Norma NTP 400.037 ó ASTM C33, en donde se tiene los límites inferior y superior del agregado grueso los mismos que dependen únicamente del Tamaño Máximo Nominal del agregado, la serie de tamices utilizados para agregado grueso son: 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8", # 4, # 8, y # 16.

La serie de tamices que se emplean para clasificar el agregado para concreto se ha establecido de manera que la abertura de cualquier tamiz sea aproximadamente la mitad de la abertura del tamiz inmediatamente superior, o sea, que cumplan con la relación 1 a 2.

La granulometría y el tamaño máximo de los agregados son importantes debido a su efecto en la dosificación, trabajabilidad, economía, porosidad y contracción del concreto. Para realizar el ensayo se empleara una maquina vibradora para tamizar la muestra, en ningún caso se inducirá el paso de una partícula a través del tamiz.

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso de material retenido en tamiz} * 100}{\text{Peso total de la muestra}}$$

El resultado del análisis granulométrico se representa de forma gráfica en Curvas Granulométricas, donde el eje de las ordenadas representan el porcentaje que pasa y de las abscisas la abertura del tamiz cuya escala generalmente es logarítmica, estos gráficos nos permiten una visualización mejor a la distribución de tamaños dentro de una masa de agregados.

Tamaño Máximo (TM)

El Tamaño Máximo (TM) de un agregado se define como la abertura del menor tamiz establecida en la NTP. 400.037 por el cual pasa el 100% de la muestra.
El tamaño máximo del agregado seleccionado para la presente investigación es de 1" (37.5 mm).

TM = 1"

El tamaño máximo del agregado a ser empleado depende generalmente del tamaño y forma del elemento de concreto; y de la cantidad y distribución del acero de refuerzo. El TM no debe sobrepasar:

- Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
- Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
- Un tercio del peralte de las losas.

Estos requisitos se pueden rebasar si, en opinión del ingeniero, la mezcla tiene la trabajabilidad suficiente para colocar el concreto sin que se formen alveolados ni vacíos.

Tamaño Máximo Nominal (TMN)

Tiene dos definiciones: la primera de ellas nos dice que la malla que pasa del 100% al 95% en el que se produce el primer retenido; o es el diámetro inmediato superior a la malla que retiene el 15% o más en forma acumulada del material.

El tamaño máximo nominal del agregado grueso utilizado en la investigación es de ¾" debido a que se tiene más del 15% de material retenido acumulado en la malla de ½", por lo que la malla inmediata superior según la Norma NTP 400.037 es la malla de ¾" (19mm).

TMN = 3/4"

Cuadro 12. Uso granulométrico para el agregado grueso según NTP 400.037

NORMA NTP 400.037	
TAMAÑO DE TAMIZ	**PORCENTAJE QUE PASA POR TAMICES NORMALIZADOS** Tamaño maximo nominal de 3/4" a N°4 (19mm a 4.75mm)
1 1/2" (37.5)	-
1" (25mm)	100
3/4" (19mm)	90 @ 100
1/2" (12.5mm)	-
3/8" (9.5mm)	20 @ 55
N°4 (4.75mm)	0 @ 10
N°8 (2.36mm)	0 @ 5
N°16 (1.18mm)	-

3.1.1.2.3. EQUIPO

- ✓ Tamizadora: se utilizara una tamizadora eléctrica para separar el material con las mallas de la NTP 400.037, las cuales son de 1",3/4", 1/2", 3/8", # 4.
- ✓ Balanza: se utilizó una balanza eléctrica con aproximación al 0.5gr.
- ✓ Bandejas metálicas.
- ✓ Cucharon metálico.

3.1.1.2.4. PROCEDIMIENTO

- Se tomó una muestra de 10kg correspondiente a un tamaño máximo nominal de ¾" según el cuadro 13.
- Para este ensayo, la muestra de agregado grueso tiene que estar seca; por lo cual se lleva al horno a una temperatura de 100±5°C.
- Luego de que el agregado este completamente seco, se procede a colocar el material en la tamizadora, donde ya deben estar colocados los tamices, de mayor a menor abertura.

Cuadro 13. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso y global.

Tamaño Maximo Nominal Aberturas Cuadradas mm (pulg)	**Cantidad de la Muestra de Ensayo, Minimo Kg (lb)**
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2(4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

- Una vez que el material ha sido colocado en la tamizadora mecánica, el zarandeo debe durar por lo menos 2.5 min, dicha maquina realiza movimientos permanentes adelante, atrás, arriba y abajo.
- Una vez finalizado el tamizado, se pesa los retenidos de cada malla, comenzando de la malla superior.

Figura 9. Colocación del agregado grueso en la tamizadora mecánica.

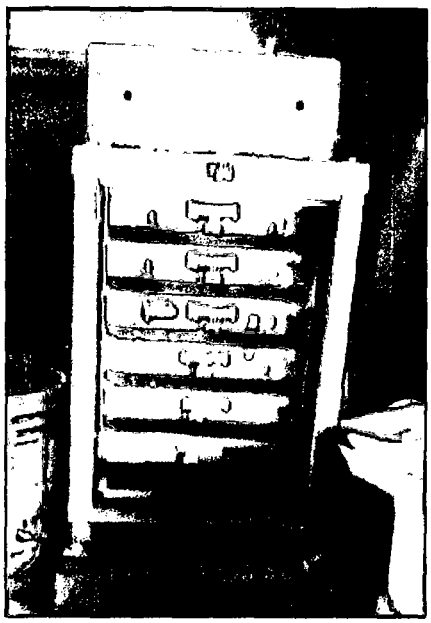
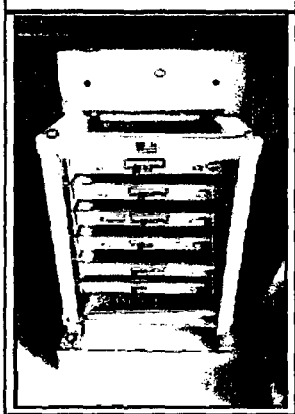


Figura 10. Tamizado del agregado grueso.

3.1.1.2.5. RESULTADOS

Cuadro 14. Granulometría del Agregado Grueso - Muestra M-1

CANTERA "LA PODEROSA" - M1						
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO PARA EL CONCRETO	PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 10Kg					
	TAMIZ		Peso Retenido (kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
	Pulg	mm				
	1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
	3/4"	19.00	0.73	7.34	7.34	92.66
	1/2"	12.70	4.87	48.68	56.02	43.98
	3/8"	9.51	1.89	18.89	74.91	25.09
	#4	4.75	2.19	21.89	96.80	3.20
	Fondo		0.32	3.20	100.00	0.00
	Total		10.00	100.00	-	-

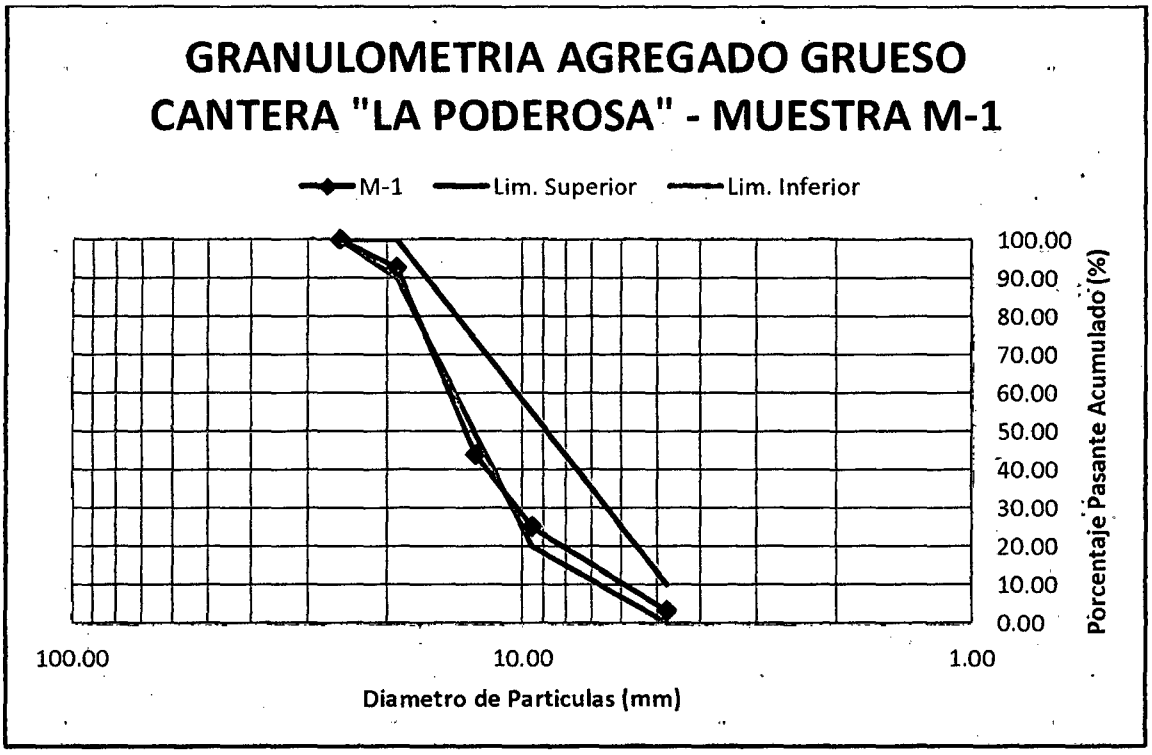
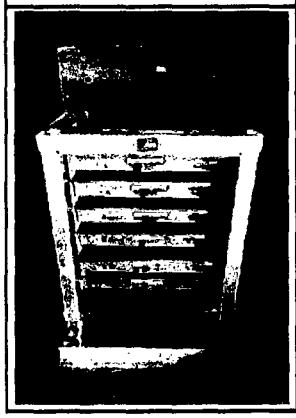


Figura 11. Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Muestra M-1

Cuadro 15. Granulometría del Agregado Grueso - Muestra M-2

CANTERA "LA PODEROSA" - M2						
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO PARA EL CONCRETO	PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 10Kg					
	TAMIZ		Peso Retenido (kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
	Pulg	mm				
	1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
	3/4"	19.00	0.44	4.43	4.43	95.57
	1/2"	12.70	4.82	48.24	52.67	47.33
	3/8"	9.51	1.98	19.81	72.48	27.52
	#4	4.75	2.33	23.32	95.80	4.20
	Fondo		0.42	4.20	100.00	0.00
	Total		10.00	100.00	-	-

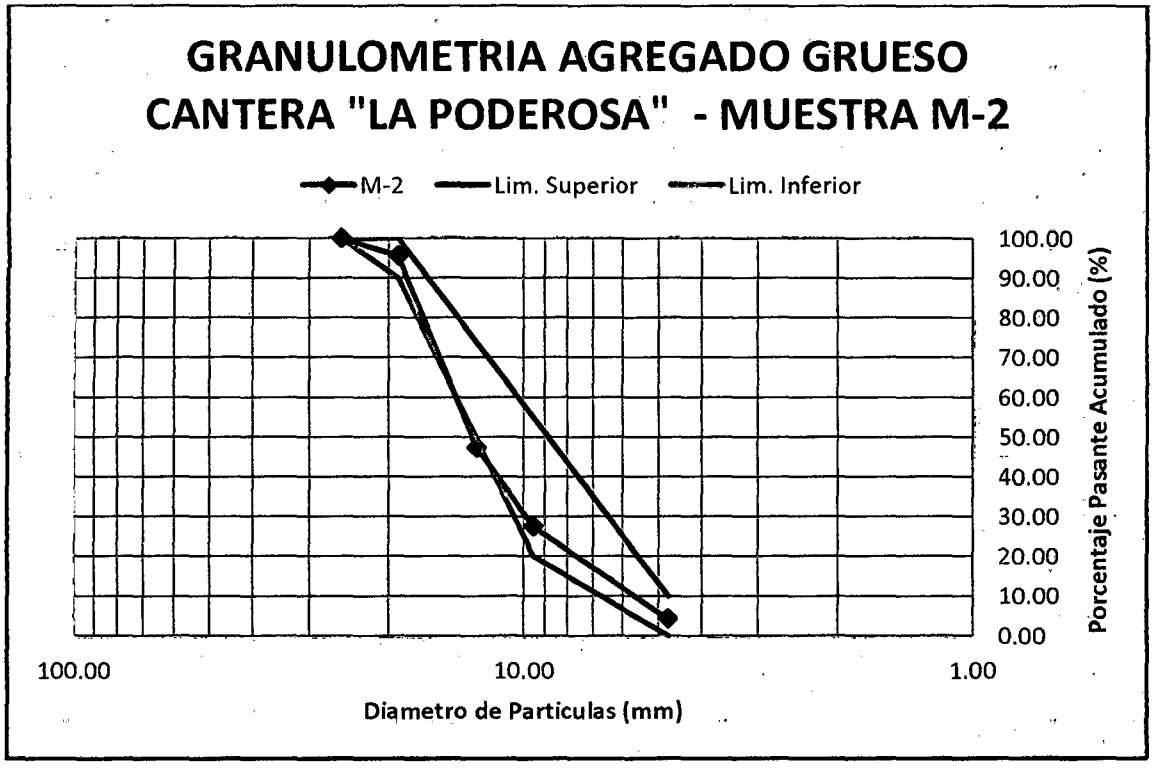
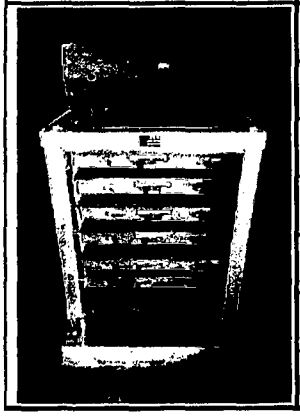


Figura 12. Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Muestra M-2

Cuadro 16. Granulometría del Agregado Grueso - Muestra M-3

CANTERA "LA PODEROSA" - M3						
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO PARA EL CONCRETO	PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 10Kg					
	TAMIZ		Peso Retenido (kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
	Pulg	mm				
	1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
	3/4"	19.00	0.61	6.09	6.09	93.91
	1/2"	12.70	4.67	46.69	52.78	47.22
	3/8"	9.51	2.34	23.40	76.17	23.83
	#4	4.75	2.02	20.23	96.40	3.60
	Fondo		0.36	3.60	100.00	0.00
	Total		10.00	100.00	-	-

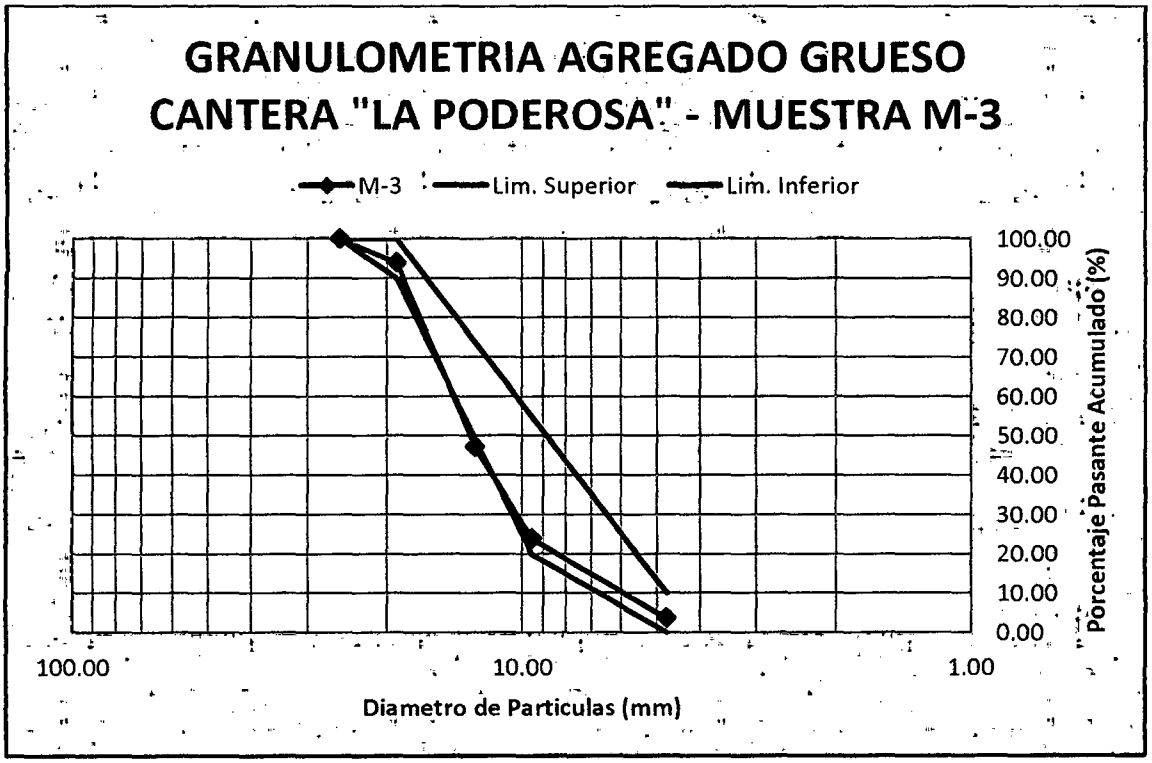


Figura 13. Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Muestra M-3

3.1.1.2.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las curvas granulométricas obtenidas de las tres muestras ensayadas se encuentran dentro del uso granulométrico indicado en la NTP 400.037, por lo que el material se encuentra apto para la elaboración del concreto.

3.1.1.3. MÓDULO DE FINEZA

3.1.1.3.1. NORMAS

NTP 400.012

ASTM C136

3.1.1.3.2. MARCO TEÓRICO

Es un índice aproximado del tamaño medio de los agregados. Cuando este índice es bajo quiere decir que el agregado es fino, cuando es alto es señal de lo contrario. El

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

El módulo de fineza se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices 3", 1½", ¾", 3/8", # 4, # 8, # 16, # 30, # 50 y # 100 y esta cantidad se divide entre 100 , para este cálculo no se incluyen los tamices de 1" y ½".

El sustento matemático del Módulo de Fineza reside en que es proporcional al promedio logarítmico del tamaño de partículas de una cierta distribución granulométrica.

Formula:

$$MF = \frac{[\ \Sigma(\%\ \text{Retenido Acumulado}) + 500\ ]}{100}$$

3.1.1.3.3. RESULTADOS

Cuadro 17. Resultados del ensayo de Modulo de Fineza del Agregado Grueso Muestra M-1

CANTERA "LA PODEROSA" - M1				
TAMIZ		Peso Retenido (kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)
Pulg	mm			
3/4"	19.00	0.73	7.34	7.34
1/2"	12.70	4.87	48.68	56.02
3/8"	9.51	1.89	18.89	74.91
#4	4.75	2.19	21.89	96.80

$$\textbf{Modulo de Fineza} = \frac{74.91 + 96.80 + 500}{100} = 6.72$$

Cuadro 18. Resultados del ensayo de Modulo de Fineza del Agregado Grueso Muestra M-2

CANTERA "LA PODEROSA" - M2				
TAMIZ		Peso Retenido (kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)
Pulg	mm			
3/4"	19.00	0.44	4.43	4.43
1/2"	12.70	4.82	48.24	52.67
3/8"	9.51	1.98	19.81	72.48
#4	4.75	2.33	23.32	95.80

$$\textbf{Modulo de Fineza} = \frac{72.48 + 95.80 + 500}{100} = 6.68$$

Cuadro 19. Resultados del ensayo de Modulo de Fineza del Agregado Grueso Muestra M-3

CANTERA "LA PODEROSA" - M3				
TAMIZ		Peso Retenido (kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)
Pulg	mm			
3/4"	19.00	0.61	6.09	6.09
1/2"	12.70	4.67	46.69	52.78
3/8"	9.51	2.34	23.40	76.17
#4	4.75	2.02	20.23	96.40

$$\textbf{Modulo de Fineza} = \frac{76.17 + 96.40 + 500}{100} = 6.73$$

$$\textbf{\textit{Modulo de Fineza Promedio}} = 6.71$$

3.1.1.4. CONTENIDO DE HUMEDAD

3.1.1.4.1. NORMAS

NTP 339.185
ASTM C566

3.1.1.4.2. MARCO TEÓRICO

El módulo de fineza se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices 3", 1½", ¾", 3/8", # 4, # 8, # 16, # 30, # 50 y # 100 y esta cantidad se divide entre 100 , para este cálculo no se incluyen los tamices de 1" y ½".

En los agregados existen poros, los cuales se encuentran a la intemperie y pueden estar llenos con agua, estos poseen un grado de humedad, el cual es de gran importancia ya que con él se puede determinar el aporte de agua a la mezcla.

Los agregados pueden tener algún grado de humedad lo cual está directamente relacionado con la porosidad de las partículas. La porosidad depende a su vez del tamaño de los poros, su permeabilidad y la cantidad o volumen total de poros. Las partículas de agregado pueden pasar por cuatro estados, los cuales se describen a continuación:

Totalmente seco. Se logra mediante un secado al horno a 110°C hasta que los agregados tengan un peso constante. (generalmente 24 horas).
Parcialmente seco. Se logra mediante exposición al aire libre.
Saturado y Superficialmente seco. (SSS). En un estado límite en el que los agregados tienen todos sus poros llenos de agua pero superficialmente se encuentran secos. Este estado sólo se logra en el laboratorio.
Totalmente Húmedo. Todos los agregados están llenos de agua y además existe agua libre superficial.

Para nuestra investigación utilizaremos agregados que están parcialmente secos para la determinación del contenido de humedad total de los agregados. Este método consiste en someter una muestra de agregado a un proceso de secado y comparar su masa antes y después del mismo para determinar su porcentaje de humedad total. Este método es lo

suficientemente exacto para los fines usuales, tales como el ajuste de la masa en una mezcla de hormigón.

El contenido de humedad en los agregados se puede calcular mediante la utilización de la siguiente fórmula:

Formula:

$$\%CH = [(P_o - P_s) / P_s] * 100$$

Donde:

%CH : Contenido de Humedad [%]
Po : Peso Natural de la Muestra [gr]
Ps : Peso Seco de la Muestra [gr]

3.1.1.4.3. EQUIPO

- ✓ Balanza.
- ✓ Bandejas metálicas.
- ✓ Horno.

3.1.1.4.4. PROCEDIMIENTO

Se tomó una muestra inicial de 20 Kgr. de agregado grueso por medio de la técnica del cuarteo con una aproximación de 0.1% para la balanza, evitando la pérdida de humedad y del mismo material; luego de haberlo pesado se deposita la muestra en un recipiente para someterlo a una temperatura de 110°C ±5°C en el horno y extraer la humedad.
Inmediatamente el material seco, se retiró del horno dejándolo enfriar, para obtener el peso de su masa.

3.1.1.4.5. RESULTADOS

Cuadro 20. Resultados del ensayo de Contenido de Humedad del Agregado Grueso.

CANTERA "LA PODEROSA"			
Muestra	Peso Natural de la Muestra (gr)	Peso Seco de la Muestra (gr)	Contenido de Humedad (%)
M - 1	2000.00	1996.10	**0.20**
M - 2	2000.00	1995.60	**0.22**
M - 3	2000.00	1995.00	**0.25**

$$\boldsymbol{Contenido\ de\ Humedad\ Promedio} = 0.22\%$$

3.1.1.5. PASANTE DE MALLA N°4

3.1.1.5.1. NORMAS

NTP 400.012

ASTM C136

3.1.1.5.2. MARCO TEÓRICO

Por definición se conoce que el agregado grueso es el material retenido en la malla N°4, el resto de material que pasa esta malla es un índice que muestra el porcentaje de agregado fino contenido en el agregado grueso, dicho valor es utilizado en el diseño de mezclas por el método fuller. Los resultados los obtenemos del ensayo ya realizado en la granulometría.

3.1.1.5.3. RESULTADOS

Cuadro 21. Resultados del ensayo de Pasante de la Malla N°4 del Agregado Grueso.

CANTERA "LA PODEROSA"			
Muestra	Tamiz		Pasante Acumulado (%)
M - 1	#4	4.75mm	**3.20**
M - 2	#4	4.75mm	**4.20**
M - 3	#4	4.75mm	**3.60**

$$\%\boldsymbol{Pasante\ de\ Malla\ \#4\ Promedio} = 3.67\%$$

3.1.1.6. PESO ESPECÍFICO

3.1.1.6.1. NORMAS

NTP 400.021

ASTM C127

3.1.1.6.2. MARCO TEÓRICO

Como ya se mencionó en el capítulo anterior de la investigación, el peso específico es la propiedad física de los agregados y se define por la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada, lo que significa que depende directamente de las características del grano del agregado.

Generalmente las partículas de agregado poseen poros tanto saturables como no saturables, dependiendo de su permeabilidad interna; pueden estar vacíos, parcialmente saturados o totalmente llenos de agua, los cuales generan una serie de estados de humedad a los que corresponde idénticos tipos de densidad, la que más interesa en el campo de la tecnología del concreto y específicamente en el diseño de mezclas es la densidad aparente, la que se define como la relación que existe entre el peso del agregado y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos todos los poros (saturables y no saturables).

Este factor es importante para desarrollar el diseño de mezclas ya que determina la cantidad de agregado requerido para un volumen unitario de concreto, debido a que los poros interiores de las partículas de agregado van a ocupar un volumen dentro de la masa de concreto y además porque el agua se aloja dentro de los poros saturables.

3.1.1.6.3. EQUIPOS

- ✓ Balanza, con aproximación al 0.5gr y con capacidad de 3000gr o más, la balanza estará equipada con un dispositivo capaz de suspender la muestra en la cesta con malla de alambre en el recipiente de agua desde el centro de la plataforma de pesado.
- ✓ Tamiz normalizado N° 4.
- ✓ Depósito de agua.
- ✓ Cesta con malla de alambre, con abertura correspondiente al tamiz N°6.
- ✓ Horno.

3.1.1.6.4. PROCEDIMIENTO

- Antes de realizar el ensayo de peso específico, es necesario hacer el muestreo y el cuarteo del agregado a ser usado, para poder tener una muestra representativa.
- Tamizar el material por la malla N4, descartar la totalidad del pasante de esta malla.
- La muestra aproximadamente es de 3000gr de agregado grueso, el cual debe de estar seco.
- Se procede a sumergir el material en agua por 24horas, pasado este tiempo, se remueve el material del agua, para hacerla rodar sobre un paño grande absorbente (franela), hasta hacer desaparecer toda la película de agua visible, podemos darnos cuenta cuando el agregado ha perdido el brillo superficial.
- Se pesa la muestra obteniéndose entonces el peso de la muestra bajo condición de saturación con superficie seca. Se determina este y todo los demás pesos con aproximación de 0.5g.
- Se pesa la canastilla sumergida completamente en el depósito de agua, marcar hasta donde se sumerge la canastilla, además de colocar en cero el peso de la canastilla sumergida en agua.
- Colocar la muestra saturada superficialmente seca en la canastilla y sumergirla completamente de tal manera que llegue a la marca anteriormente descrita, luego este es el peso de la muestra satura en agua.
- Una vez retirada la muestra de la cesta de alambre, esta se lleva al horno a una temperatura entre 100±5°C para obtener el peso de la muestra seca.

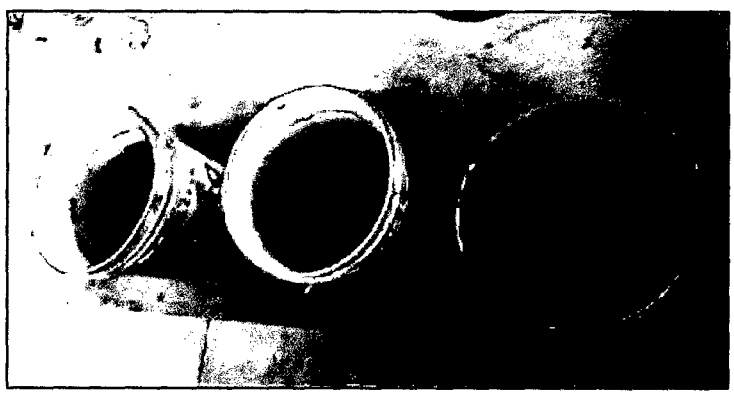


Figura 14. Sumergido del Agregado Grueso.

Figura 15. Preparación del Agregado Grueso al estado Saturado Superficialmente Seco.

Figura 16. Sumergido del Agregado Grueso Saturado Superficialmente Seco para determinar el volumen desalojado.

3.1.1.6.5. CÁLCULOS

- Volumen desalojado (Vdes):

$$\mathbf{Vdes = Wsss - Wsum}$$

- Peso Específico Seco (PE):

$$\mathbf{PE = \frac{Ws}{Vdes}}$$

- Peso Específico Saturado Superficialmente Seco (PEsss):

$$\mathbf{PEsss} = \frac{\mathbf{Wsss}}{\mathbf{Vdes}}$$

Donde:

- Wsss : Peso de la muestra saturado superficialmente seco.
- Ws : Peso de la muestra seca.
- Wsum: Peso de la muestra sumergida.

3.1.1.6.6. RESULTADOS

Cuadro 22. Resultados del ensayo de Peso Específico del Agregado Grueso.

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso Saturado Superficialmente Seco (Wsss)	gr	3000.00	3000.00	3000.00
Peso de Muestra Seca (Ws)	gr	2970.00	2985.00	2983.00
Peso de Muestra Sumergida (Wsum)	gr	1915.40	1910.80	1908.70
Volumen de Muestra (Vdes)	cm^3	1084.60	1089.20	1091.30
Peso Especifico Seco (PE)	gr/cm^3	**2.74**	**2.74**	**2.73**
P.E. Saturado Superficialmente Seco (Pesss)	gr/cm^3	2.77	2.75	2.75

$$\boldsymbol{Peso\ Especifico\ Promedio = 2.74\ gr/cm3}$$

3.1.1.7. ABSORCIÓN

3.1.1.7.1. NORMAS

NTP 400.021

ASTM C127

3.1.1.7.2. MARCO TEÓRICO

La absorción en los agregados, es el incremento en la masa del agregado por acción del agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

3.1.1.7.3. EQUIPOS

- ✓ Balanza.
- ✓ Depósito de agua.
- ✓ Horno.

3.1.1.7.4. PROCEDIMIENTO

Consiste en sumergir la muestra durante 24 horas en agua, para luego llevarla a la condición de densidad aparente (SSS); una vez obtenida, se pesa y se coloca la muestra al horno, la diferencia de pesos expresado como un porcentaje de peso de la muestra seca, es la capacidad de absorción.

3.1.1.7.5. RESULTADOS

Cuadro 23. Resultados del Ensayo de Absorción del Agregado Grueso.

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso Saturado Superficialmente Seco (Wsss)	gr	3000.00	3000.00	3000.00
Peso de Muestra Seca (Ws)	gr	2970.00	2985.00	2983.00
Absorcion	%	1.00	0.50	0.57

$$\boldsymbol{Absorcion\ Promedio} = \mathbf{0.69\%}$$

3.1.1.8. PESO UNITARIO SUELTO

3.1.1.8.1. NORMAS

NTP 400.017

ASTM C29

3.1.1.8.2. MARCO TEÓRICO

Se denomina Peso unitario suelto al resultado de dividir el peso de las partículas de agregado grueso entre el volumen total de un recipiente normado, donde el recipiente es llenado con el agregado sin ningún tipo de presión, utilizando el procedimiento con pala. Al incluir los espacios entre las partículas está influenciado por la manera en que se acomodan estas, lo que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo.

El peso unitario se ve influenciado por la granulometría, su perfil y textura superficial, su grado de compactación y su peso específico.

3.1.1.8.3. EQUIPOS

- ✓ Balanza.
- ✓ Molde metálico.
- ✓ Bandejas.
- ✓ Cucharon.

3.1.1.8.4. PROCEDIMIENTO

- Realizar el muestreo y cuarteo del material.
- Secar el material.
- El recipiente se llena con ayuda del cucharon hasta rebosar, descargando el agregado desde una altura no mayor a 50mm (2") por encima de la parte superior del recipiente. El agregado sobrante se elimina cuidadosamente con una regla, evitando cualquier compactación.
- Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido y el peso y volumen del recipiente, se registran estos datos.

Figura 17. Llenado del molde metálico con agregado grueso.

Figura 18. Enrasado del molde con agregado grueso.

3.1.1.8.5. CÁLCULOS

- Peso de la muestra (Pm):

$$\mathbf{Pm = P(m + mld) - Pmld}$$

- Peso Unitario Suelto (PUS):

$$\mathbf{PUS = \frac{Pm}{Vmld}}$$

Donde:

- P(m+mld) : Peso de la muestra + Peso del molde.
- Pmld : Peso del molde.
- Vmld : Volumen del molde.

3.1.1.8.6. RESULTADOS

Cuadro 24. Resultados del ensayo de Peso Unitario Suelto.

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de Muestra + Peso de Molde (Pm+mld)	gr	10700.00	10700.00	10850.00
Peso del Molde (Pmld)	gr	5500.00	5500.00	5500.00
Peso de la Muestra (Pm)	gr	5200.00	5200.00	5350.00
Volumen del Molde (Vmld)	cm^3	3554.16	3554.16	3554.16
Peso Unitario Suelto (P.U.S.)	gr/cm^3	**1.46**	**1.46**	**1.51**

$$\boldsymbol{Peso\ Unitario\ Suelto\ Promedio = 1.48\ gr/cm3}$$

3.1.1.9. PESO UNITARIO VARILLADO

3.1.1.9.1. NORMAS

NTP 400.017

ASTM C29

3.1.1.9.2. MARCO TEÓRICO

Método del Varillado o Apisonado: Este método se realiza cuando el tamaño máximo del agregado es menor a 50 milímetros (2 pulgadas). Para este método utilizamos una muestra, la cual tendrá que ser secada al aire previamente.

3.1.1.9.3. EQUIPOS

- ✓ Balanza.
- ✓ Molde metálico.
- ✓ Bandejas.
- ✓ Cucharon.
- ✓ Varilla metálica lisa con punta semiesférica.

3.1.1.9.4. PROCEDIMIENTO

- Realizar el muestreo y cuarteo del material.
- Secar el material.
- Se llena la tercera parte del recipiente de medida y se nivela la superficie. Se apisona la capa del agregado con la barra compactadora, mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie en forma helicoidal. Se llena hasta las dos terceras partes de la medida y de nuevo se repite el compactado. Finalmente se llena el recipiente metálico con agregado hasta rebosar se vuelve a apisonar con la varilla también 25, para luego enrasar con una regla metálica o en su defecto con la misma varilla.
- Al compactar la primera capa se procura que la varilla no golpee el fondo con fuerza, al compactar las últimas dos capas la barra debe penetrar solo la última capa de agregado colocada.
- Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido y el peso y volumen del recipiente, se registran estos datos.

Figura 19. Enrasado del molde metálico con Ag. Grueso para el Peso Unitario Varillado.

3.1.1.9.5. CÁLCULOS

- Peso de la muestra (Pm):

$$\mathbf{Pm = P(m + mld) - Pmld}$$

- Peso Unitario Varillado (PUV):

$$\mathbf{PUV = \frac{Pm}{Vmld}}$$

Donde:

- P(m+mld) : Peso de la muestra + Peso del molde.
- Pmld : Peso del molde.
- Vmld : Volumen del molde.

3.1.1.9.6. RESULTADOS

Cuadro 25. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Varillado del Agregado Grueso.

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de Muestra + Peso de Molde (Pm+mld)	gr	11500.00	11450.00	11500.00
Peso del Molde (Pmld)	gr	5500.00	5500.00	5500.00
Peso de la Muestra (Pm)	gr	6000.00	5950.00	6000.00
Volumen del Molde (Vmld)	cm^3	3554.16	3554.16	3554.16
Peso Unitario Varillado (P.U.V.)	gr/cm^3	**1.69**	**1.67**	**1.69**

$$\boldsymbol{Peso\ Unitario\ Varillado\ Promedio = 1.68\ gr/cm3}$$

3.1.1.10. ENSAYO DE RESISTENCIA AL DESGASTE

3.1.1.10.1. NORMAS

NTP 400.019

ASTM C131

3.1.1.10.2. MARCO TEÓRICO

En la mayoría de las normas sobre agregados a nivel internacional se establecen pruebas de desgaste o abrasión con el fin de probar la dureza de las partículas del agregado grueso que es la resistencia a la erosión, abrasión, o en general el desgaste de sus componentes.

Entre las mejores rocas a emplear en concretos que deben ser resistentes a procesos de abrasión o erosión, figuran el cuarzo, la cuarcita, las rocas densas de origen volcánico y las rocas silicosas.

Para determinar la dureza del agregado se utiliza un método indirecto cuyo procedimiento esta descrito en la Norma NTP 400.019 para agregados gruesos.

El método más conocido es el ensayo en la Máquina de los Ángeles, la cual consiste básicamente en colocar una cantidad especificada de agregado dentro de un tambor cilíndrico de acero que está montado horizontalmente, donde se añade una carga de bolas de acero y se le aplica un número determinado de revoluciones. El choque entre el agregado y las bolas da por resultado la abrasión, los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje inicial.

Formula:

$$\%\mathbf{Desgaste} = \frac{\mathbf{Po} - \mathbf{Pf}}{\mathbf{Po}} * \mathbf{100}$$

Donde:

- Po : Peso inicial de la muestra seca
- Pf : Peso final de la muestra después del ensayo lavada sobre el tamiz #12

Para el ensayo se considerara una carga abrasiva la cual consiste en esfera de fundición o de acero de unos 48 mm de diámetro y entre 390 y 445 gramos de masa, cuya cantidad depende del material a ensayar, tal como se indica en la siguiente tabla:

Cuadro 26. Carga Abrasiva para el Agregado Grueso.

GRADACION	NÚMERO DE ESFERAS	PESO DE LA CARGA (gr.)
A	12	5000 + 25
B	11	4584 + 25
C	8	3330 + 20
D	6	2500 + 15

Cuadro 27. Gradaciones para el Agregado Grueso.

GRADACIONES DE MUESTRAS DE ENSAYO					
Tamaño de tamices NTP (aberturas cuadradas)		**Peso de tamaños indicados (gr)**			
Pasa	**Retenido en**	**A**	**B**	**C**	**D**
37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	1250 + 25			
25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	1250 + 25			
19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	1250 + 10	2500 + 10		
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	1250 + 10	2500 + 10		
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")			2500 + 10	
6.3 mm (¼")	4.75 mm (N° 4)			2500 + 10	
4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)				5000 + 10
	TOTAL	5000 + 10	5000 + 10	5000 + 10	5000 + 10

En la mayoría de las normas sobre agregados a nivel internacional se establecen pruebas de desgaste o abrasión con el fin de probar la dureza de las partículas del agregado grueso que es la resistencia a la erosión, abrasión o en general el desgaste de sus componentes.

3.1.1.10.3. EQUIPOS

- ✓ Balanza.
- ✓ Máquina de los Ángeles.
- ✓ Bandejas.
- ✓ Esferas metálicas.
- ✓ Tamiz #12.

3.1.1.10.4. PROCEDIMIENTO

- Realizar el muestreo y cuarteo del material.
- Secar el material.
- Se Pesa 5000 grs de muestra seca con una aproximación de 1 gramo de error y se coloca junto con la carga abrasiva dentro del cilindro; haciéndolo girar con una velocidad entre 30 y 33 rpm, hasta completar 500 vueltas teniendo en cuenta la velocidad angular es constante.
- Después del tiempo determinado se retira el material del cilindro y se hace pasar por el tamiz # 12 según lo establecido en la Norma NTP 400.019. El material retenido en el tamiz #12 debe ser lavado y secado en el horno a una temperatura comprendida entre 105 °C y 110 °C. El pesado final se realiza 24 horas después eliminando los finos.

Figura 20. Colocación del Agregado Grueso en la Maquina de los Ángeles.

Figura 21. Material extraído de la Maquina de los Ángeles.

Figura 22. Tamizado del Agregado Grueso resultante de la Maquina de Los Ángeles.

3.1.1.10.5. RESULTADOS

Cuadro 28. Resultados del ensayo de Abrasión del Agregado Grueso.

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de la Muestra Seca Inicial (Po)	gr	5000.00	5000.00	5000.00
Peso Seco de la Muestra Retenido en Tamiz #12	gr	4190.00	4210.00	4285.00
Desgaste	%	16.20	15.80	14.30

$$\textbf{\textit{Desgaste Promedio}} = 15.43\%$$

3.1.1.10.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La norma ASTM muestra como límite admisible máximo para los agregados un índice del 50 %, para lo cual el agregado utilizado en la investigación cumple con esta exigencia por estar debajo del límite; se puede concluir que el Agregado Grueso es óptimo según las condiciones exigidas en la Norma Técnica Peruana, por consiguiente se podrá utilizar el desarrollo de la Presente investigación.

3.1.2. AGREGADO FINO

Se define como un conjunto de partículas de origen natural o artificial, cuyas dimensiones (granulometrías) están normalizadas. Según norma, el agregado fino, es el material proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa totalmente por el tamiz oficial 9.5 mm (3/8").

3.1.2.1. MUESTREO

Según La Norma Técnica Peruana NTP 400.010 se establece los procedimientos del muestreo del agregado grueso y del agregado fino para los siguientes propósitos:

- Aceptación o rechazo de los materiales.
- Control en la fuente de abastecimiento.
- Investigación preliminar de la fuente potencial de abastecimiento.
- Control de las operaciones en el sitio de su utilización.

3.1.2.1.1. NORMAS

NTP 400.010

ASTM D-75

3.1.2.1.2. FUENTE DE ABASTECIMIENTO

Como fuente de abastecimiento del agregado grueso se tomó en cuenta una de las canteras de mayor demanda en la ciudad de Arequipa: "CANTERA LA PODEROSA S.R.L." A fin de que la presente investigación tenga un mayor alcance en la ciudad de Arequipa.

El agregado fino que se utilizara de esta cantera es arena gruesa N°4 (Natural) cuya calidad está garantizado por la empresa proveedora (CONCRETOS SUPERMIX).

Para la protección del material se optó por una cubierta plástica a fin de evitar cualquier contaminación posible.

Figura 23. Fuente de Abastecimiento del Agregado Fino - Cantera "La Poderosa".

3.1.2.1.3. EQUIPOS

- Protección plástica (saco)
- Carretilla
- Lampa
- Bandejas

3.1.2.1.4. MUESTREO

Para realizar el muestreo del agregado fino, se obtendrá tres porciones de material aproximadamente iguales, se tomara la muestra de la parte inferior, media y superior de la pila. Estas porciones se combinaran para formar una muestra de campo.

3.1.2.1.5. CUARTEO

Para lograr uniformidad en la muestra deberá mezclarse bien la muestra, luego se procede a ejecutar la reducción o cuarteo del material, la cual se hace sobre una superficie limpia, plana y cubierta con una protección plástica a fin de evitar pérdidas de material y contaminación de la misma.

Con el total de material se forma una pila cónica y con ayuda de la lampa se quita el material de la misma y se forma otra pila, este proceso se repite tres veces. En seguida se aplana el material hasta tener un espesor uniforme, para luego dividirla en 4 partes iguales, de estas se toman dos partes opuestas para realizar los ensayos correspondientes que se detallaran en los siguientes acápites de la tesis.

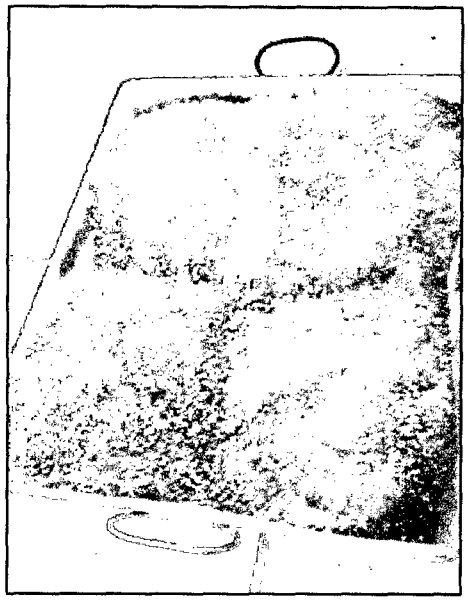


Figura 24. Cuarteo del Agregado Fino.

3.1.2.2. GRANULOMETRÍA

3.1.2.2.1. NORMAS

NTP 400.012

NTP 400.037

ASTM C136

ASTM C33

3.1.2.2.2. MARCO TEÓRICO

Los requisitos de la norma NTP 400.037 y ASTM C 33, nos permiten un rango relativamente amplio en la granulometría del agregado fino, pero las especificaciones de otras organizaciones son a veces más limitantes. La granulometría más conveniente para el agregado fino, depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados

gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua-cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango en la granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia.

El tamizado es realizado de forma manual de tal manera que el material se mantendrá en movimiento circular en vaivén horizontal y vertical, pero en ningún caso se deberá inducir con la mano el paso de una partícula a través del tamiz.

La granulometría del agregado fino dentro de los límites de la norma NTP 400.037, generalmente es satisfactoria para la mayoría de los concretos. A continuación se muestra el tamaño de las cribas que muestra la norma NTP 400.037.

Cuadro 29. Limites granulométricos del Agregado Fino según NTP 400.037.

NORMA NTP 400.037		
TAMAÑO DE TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO	
	LIMITES TOTALES	GRADACION "C"
3/8" (9.5 mm)	100	100
N°4 (4.75 mm)	89 @ 100	95 @ 100
N°8 (2.36 mm)	65 @ 100	80 @ 100
N°16 (1.18 mm)	45 @ 100	50 @ 85
N°30 (0.60 mm)	25 @ 100	25 @ 60
N°50 (0.30 mm)	5 @ 70	10 @ 30
N°100 (0.15 mm)	0 @ 12	2 @ 10

Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30 mm (No.50) y de 0.15 mm (No.100) sean reducidos a 5% y 0%, respectivamente, siempre y cuando:

- El agregado se emplee en un concreto con aire incluido que contenga más de 237 kg de cemento por metro cúbico y tenga un contenido de aire superior al 3%.
- El agregado se emplee en un concreto que contenga más de 296 kg de cemento por metro cúbico cuando el concreto tenga inclusión de aire.

- Se use un aditivo mineral aprobado para compensar la deficiencia del material que pase estas dos mallas.

Otros requisitos de la norma ASTM son:

- Que el agregado fino no tenga más del 45% retenido entre dos mallas consecutivas.
- Que el módulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1, ni que varíe en más de 0.2 del valor típico de la fuente del abastecimiento del agregado. En el caso de que sobrepase este valor, el agregado fino se deberá rechazar a menos que se hagan los ajustes adecuados en las proporciones del agregado fino y grueso.

Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30 mm (No.50) y de 0.15 mm (No.100), afectan la trabajabilidad, la textura superficial y el sangrado del concreto. La mayoría de las especificaciones permiten que del 10% al 30% pase por la malla de 0.30 mm (No. 50). El límite inferior puede bastar en condiciones de colado fáciles o cuando el concreto tiene un acabado mecánico, como ocurre en el caso de los pavimentos. Sin embargo, en los pisos de concreto acabados a mano o donde se requiera una textura superficial tersa, se deberá usar un agregado fino que contenga al menos un 15% que pase la malla de 0.30 mm (No.50) y al menos un 3% que pase la malla de 0.15 mm (No.100).

3.1.2.2.3. EQUIPO

- Balanza.-si se va a pesar agregado fino se debe utilizar una balanza con aproximación de 0.1gr.
- Tamices.- La serie de tamices utilizados para agregado fino son #4, # 8, # 16, # 30, # 50, # 100, # 200.
- Cucharon metálico.
- Bandejas
- Horno.

3.1.2.2.4. PROCEDIMIENTO

- El peso de la muestra de ensayo será como mínimo de 500 gr.
- El tamizado se realiza con tamices que cumplan la Norma NTP 350.001.

- Se tomará cada tamiz con su tapa y base, se aplicará movimiento frecuentemente de vaivén: adelante, atrás, izquierda, derecha, arriba, abajo y circular.
- Se da por finalizada la operación del tamizado cuando en el transcurso de un minuto no pase más del 1% en peso del material retenido sobren el tamiz.

Figura 25. Tamizado manual del Agregado Fino.

3.1.2.2.5. RESULTADOS

Cuadro 30. Granulometría del Agregado Fino - Muestra M-1.

CANTERA "LA PODEROSA" - M1						
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO PARA EL CONCRETO	PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 1000gr					
	TAMIZ		Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
	Pulg	mm				
	3/8"	9.510	0.00	0.00	0.00	100.00
	#4	4.750	2.00	0.20	0.20	99.80
	#8	2.381	106.20	10.62	10.82	89.18
	#16	1.190	258.80	25.88	36.70	63.30
	#30	0.596	253.40	25.34	62.04	37.96
	#50	0.298	169.00	16.90	78.94	21.06
	#100	0.148	123.10	12.31	91.25	8.75
	#200	0.074	68.40	6.84	98.09	1.91
	Fondo		19.10	1.91	100.00	0.00
	Total		1000.00	100.00	-	-

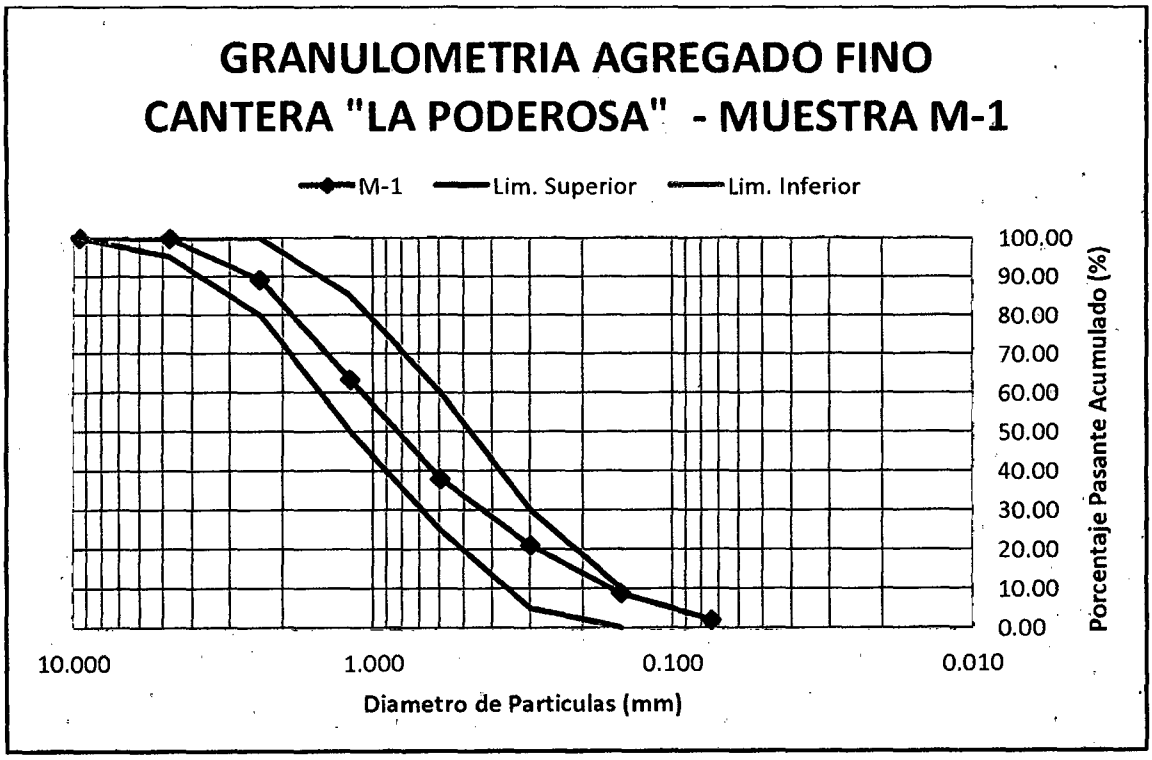


Figura 26. Curva Granulométrica del Agregado Fino - Muestra M-1.

Cuadro 31. Granulometría del Agregado Fino - Muestra M-2.

CANTERA "LA PODEROSA" - M2						
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO PARA EL CONCRETO	PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 1000gr					
	TAMIZ		Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
	Pulg	mm				
	3/8"	9.510	0.00	0.00	0.00	100.00
	#4	4.750	2.15	0.22	0.22	99.79
	#8	2.381	108.35	10.84	11.05	88.95
	#16	1.190	263.45	26.35	37.40	62.61
	#30	0.596	262.25	26.23	63.62	36.38
	#50	0.298	169.35	16.94	80.56	19.45
	#100	0.148	128.55	12.86	93.41	6.59
	#200	0.074	55.85	5.59	99.00	1.01
	Fondo		10.05	1.01	100.00	0.00
	Total		1000.00	100.00	-	-

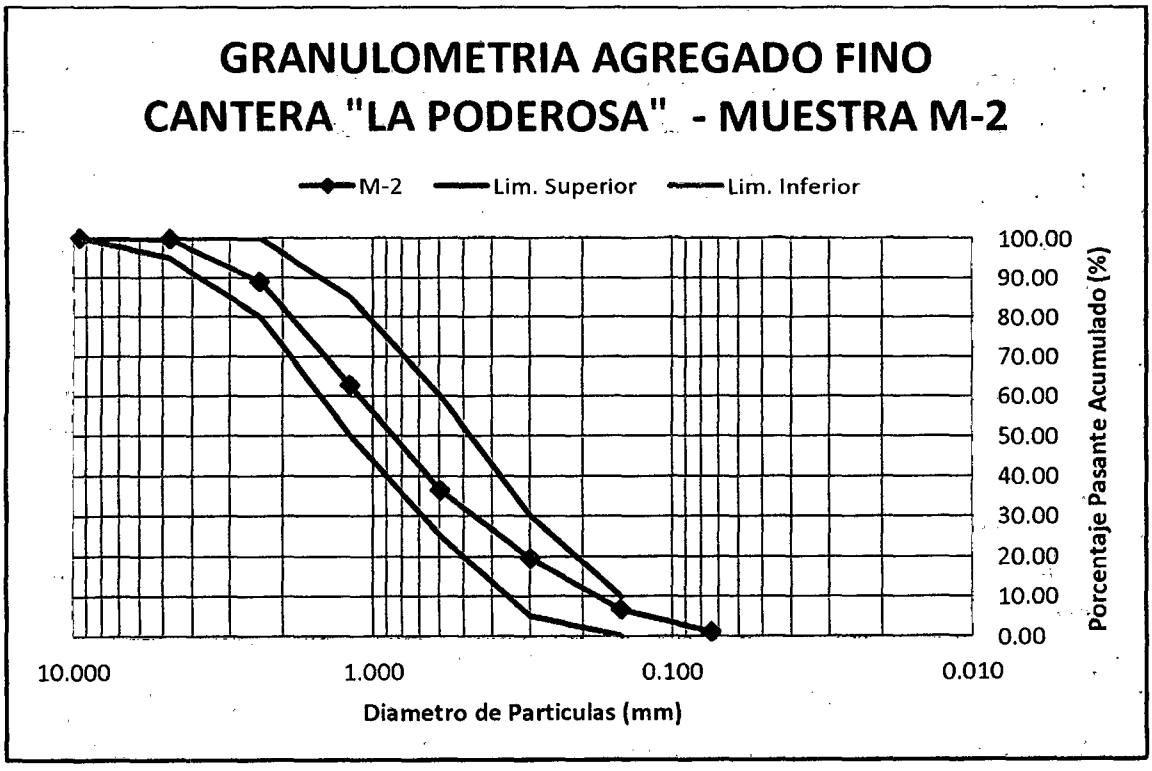


Figura 27. Curva Granulométrica del Agregado Fino - Muestra M-2.

Cuadro 32. Granulometría del Agregado Fino - Muestra M-3.

CANTERA "LA PODEROSA" - M3						
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO PARA EL CONCRETO	PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 1000gr					
	TAMIZ		Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
	Pulg	mm				
	3/8"	9.510	0.00	0.00	0.00	100.00
	#4	4.750	4.38	0.44	0.44	99.56
	#8	2.381	125.08	12.51	12.95	87.05
	#16	1.190	288.88	28.89	41.83	58.17
	#30	0.596	256.78	25.68	67.51	32.49
	#50	0.298	148.99	14.90	82.41	17.59
	#100	0.148	97.80	9.78	92.19	7.81
	#200	0.074	63.29	6.33	98.52	1.48
	Fondo		14.80	1.48	100.00	0.00
	Total		1000.00	100.00	-	-

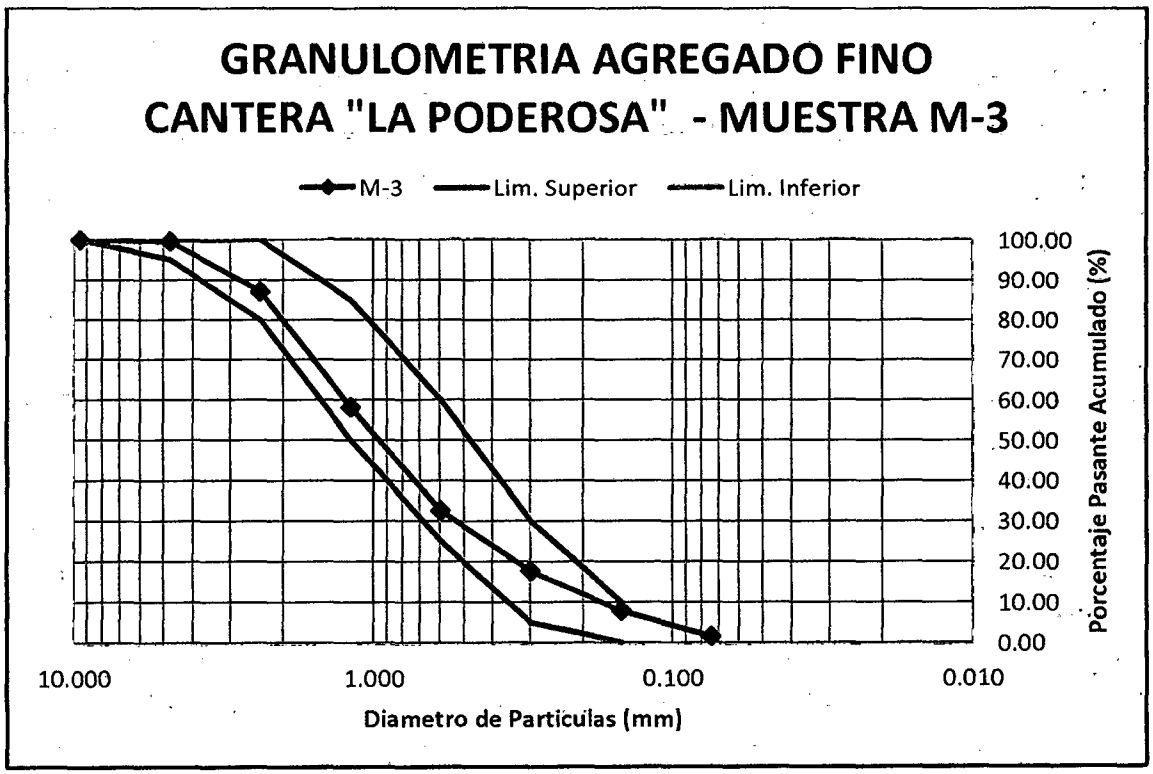


Figura 28. Curva Granulométrica del Agregado Fino - Muestra M-3.

3.1.2.2.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las curvas granulométricas obtenidas de las tres muestras ensayadas se encuentran dentro del uso granulométrico indicado en la NTP 400.037, por lo que el material se encuentra apto para la elaboración del concreto.

3.1.2.3. MÓDULO DE FINEZA

3.1.2.3.1. NORMAS

NTP 400.012

ASTM C136

3.1.2.3.2. MARCO TEÓRICO

El módulo de fineza se define como la suma de porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices 3", 1½", ¾", 3/8", # 4, # 8, # 16, # 30, # 50 y # 100 y esta cantidad se divide entre 100 , para este cálculo no se incluyen los tamices de 1" y ½".

En la apreciación del módulo de fineza se estima que los agregados finos comprendidos entre los módulos 2.2 y 2.8 producen buena trabajabilidad y reducida segregación; y las que se encuentran entre 2.8 y 3.2 son más favorables para los concretos de alta resistencia.

Formula:

$$MF = \frac{[\Sigma(\%\ \text{Retenido Acumulado})]}{100}$$

3.1.2.3.3. RESULTADOS

Cuadro 33. Resultados del Ensayo de Modulo de Fineza del Agregado Fino Muestra M-1.

CANTERA "LA PODEROSA" - M1				
TAMIZ		Peso Retenido (kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)
Pulg	mm			
3/8"	9.510	0.00	0.00	0.00
#4	4.750	2.00	0.20	0.20
#8	2.381	106.20	10.62	10.82
#16	1.190	258.80	25.88	36.70
#30	0.596	253.40	25.34	62.04
#50	0.298	169.00	16.90	78.94
#100	0.148	123.10	12.31	91.25

$$\textbf{Modulo de Fineza} = \frac{0.20 + 10.82 + 36.70 + 62.04 + 78.94 + 91.25}{100} = 2.80$$

Cuadro 34. Resultados del Ensayo de Modulo de Fineza del Agregado Fino Muestra M-2.

CANTERA "LA PODEROSA" - M2				
TAMIZ		Peso Retenido (kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)
Pulg	mm			
3/8"	9.510	0.00	0.00	0.00
#4	4.750	2.15	0.22	0.22
#8	2.381	108.35	10.84	11.05
#16	1.190	263.45	26.35	37.40
#30	0.596	262.25	26.23	63.62
#50	0.298	169.35	16.94	80.56
#100	0.148	128.55	12.86	93.41

$$\textbf{Modulo de Fineza} = \frac{0.22 + 11.05 + 37.40 + 63.62 + 80.56 + 93.41}{100} = 2.86$$

Cuadro 35. Resultados del Ensayo de Modulo de Fineza del Agregado Fino Muestra M-3.

CANTERA "LA PODEROSA" - M3				
TAMIZ		Peso Retenido (kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)
Pulg	mm			
3/8"	9.510	0.00	0.00	0.00
#4	4.750	4.38	0.44	0.44
#8	2.381	125.08	12.51	12.95
#16	1.190	288.88	28.89	41.83
#30	0.596	256.78	25.68	67.51
#50	0.298	148.99	14.90	82.41
#100	0.148	97.80	9.78	92.19

$$\textbf{Modulo de Fineza} = \frac{0.44 + 12.95 + 41.83 + 67.51 + 82.41 + 92.19}{100} = 2.97$$

$$\textbf{\textit{Modulo de Fineza Promedio}} = 2.88$$

El módulo de fineza calculado se encuentra entre los rangos 2.8 y 3.2, según esta apreciación nuestro agregado fino es favorable para concretos de alta resistencia.

3.1.2.4. CONTENIDO DE HUMEDAD

3.1.2.4.1. NORMAS

ASTM C70, 127, 128, 566

3.1.2.4.2. MARCO TEÓRICO

La absorción y humedad superficial de los agregados se determinara de acuerdo con las normas ASTM C 70, C 127, C 128 y C 566 de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y podamos determinar los pesos correctos de cada mezcla a diseñar. La estructura interna de una partícula de agregado, está constituida de materia sólida y de vacíos que pueden o no contener agua.

3.1.2.4.3. EQUIPO

- Balanza.
- Bandejas metálicas.
- Horno.

3.1.2.4.4. PROCEDIMIENTO

Tomamos una muestra inicial de 500 gr. de agregado fino por medio de la técnica del cuarteo con una aproximación de 0.1% para la balanza, evitando la pérdida de humedad y del mismo material; luego de haberlo pesado se deposita la muestra en un recipiente para someterlo a una temperatura de 110°C ±5°C en el horno logrando extraer la humedad. Inmediatamente el material seco, se saca del horno y se deja enfriar para finalmente pesarla.

El contenido de humedad en los agregados se puede calcular mediante la utilización de la siguiente fórmula:

Formula:

$$\%CH = [(P_o - P_s) / P_s] * 100$$

Donde:

%CH : Contenido de Humedad [%]

Po : Peso Natural de la Muestra [gr]

Ps : Peso Seco de la Muestra [gr]

3.1.2.4.5. RESULTADOS

Cuadro 36. Resultados del ensayo de Contenido de Humedad.

CANTERA "LA PODEROSA"			
Muestra	Peso Natural de la Muestra (gr)	Peso Seco de la Muestra (gr)	Contenido de Humedad (%)
M - 1	1000.00	996.90	**0.31**
M - 2	1000.00	997.60	**0.24**
M - 3	1000.00	997.40	**0.26**

$$\boldsymbol{Contenido\ de\ Humedad\ Promedio} = 0.27\%$$

3.1.2.5. PESO ESPECÍFICO

3.1.2.5.1. NORMAS

NTP 400.022

ASTM C128

3.1.2.5.2. MARCO TEÓRICO

El peso específico (densidad relativa) de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionamientos de mezclas y control, por ejemplo en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado. Generalmente no se le

emplea como índice de calidad del agregado, aunque ciertos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo tengan pesos específicos bajos.

3.1.2.5.3. EQUIPOS

- ✓ Balanza, con aproximación al 0.5gr
- ✓ Picnómetro (fiola), con capacidad 500ml o mayor.
- ✓ Molde cónico metálico, de 40 ± 3mm de diámetro en la parte superior, 90 ± 3mm de diámetro en la parte inferior y 75 ± 3mm de altura. Confeccionado por una plancha metálica de un espesor igual o superior a 0.8mm,
- ✓ Apisonador de metal, la cual es una varilla metálica con uno de sus extremos de sección plana y circular, de 25 ± 3mm de diámetro. Debe tener una masa de 340 ± 15 gr
- ✓ Horno.

3.1.2.5.4. PROCEDIMIENTO

- Antes de realizar el ensayo de peso específico, es necesario hacer el muestreo y el cuarteo del agregado a ser usado, para poder tener una muestra representativa.
- La muestra aproximadamente es de 1500gr de agregado fino, el cual debe de estar seco.
- Se procede a sumergir el material en agua por 24horas, pasado este tiempo, se remueve el material del agua, se coloca en una bandeja para hacerla secar al aire, hasta que la muestra este en estado saturado superficialmente seco.
- Para poder determinar que la muestra está en el estado saturado superficialmente seco se utiliza un molde, con forma tronco-cónica, al cual se le llena la muestra en solo una capa que con ayuda de un pistón se va compactando haciendo caer el pistón aproximadamente de 5mm de altura, al término de la compactación se alisa la superficie de la muestra y se levanta el molde verticalmente. Si existe humedad libre el cono conserva su forma. En este caso se repite en intervalos frecuentes, hasta que la muestra quede en forma cónica, terminada en punta sin desmoronarse. Esto indica que se ha alcanzado la condición de saturado superficialmente seca.
- Inmediatamente después se pesa 500gr, para el ensayo de peso específico y otros 500gr para el ensayo de absorción, este último se lleva al horno para obtener su peso seco.

- Luego en una fiola de 500cm3, se introduce una cantidad de agua y luego la muestra de agregado fino saturado superficialmente seca que se pesó anteriormente (500gr), teniendo cuidado de no perder material, posteriormente se llena de agua a la fiola hasta una altura que al inclinarla nos permita expulsar las burbujas de aire contenidas, se debe colocar la fiola en baño maría e ir rolándola cada 15 min aproximadamente, hasta haber eliminado las burbujas.
- Una vez terminado se llena la fiola y se le hace reposar por 24horas, luego se procede a colocar el agua hasta una marca en la fiola, se toma el valor de este peso.
- Se retira todo el contenido de la fiola, se le coloca agua hasta la marca anterior y se vuelve a pesar.
- Se pesa la fiola vacía.

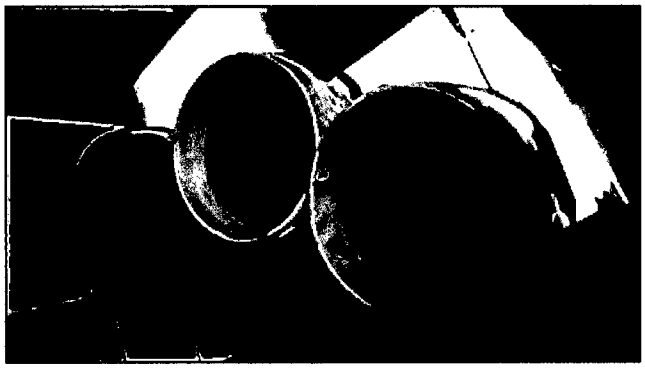


Figura 29. Agregado Fino Sumergido.

Figura 30. Preparación del Agregado Fino al Estado Saturado Superficialmente Seco.

Figura 31. Compactación del Agregado Fino para la verificación del Estado Saturado Superficialmente Seco.

Figura 32. Verificación del Estado Saturado Superficialmente Seco.

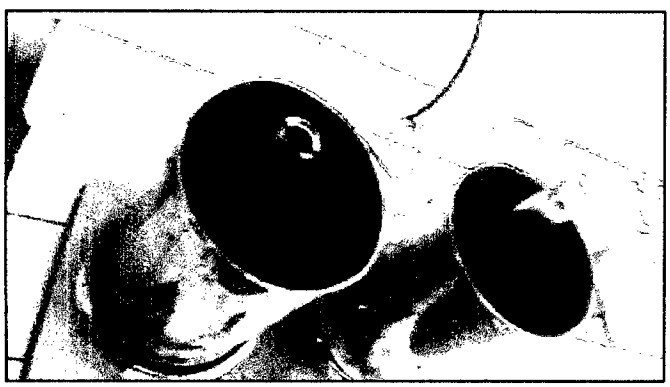


Figura 33. "Baño María" de las fiolas con Ag. Fino.

Figura 34. Rolado de las fiolas para eliminar el aire atrapado.

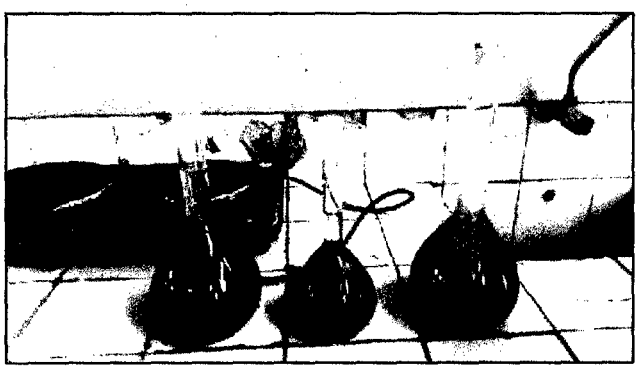


Figura 35. Fiolas listas para el pesado y toma de datos.

3.1.2.5.5. CÁLCULOS

- Peso Específico de masa (Pem):

$$\mathbf{Pem} = \frac{\mathbf{Ws}}{\mathbf{Wa} + \mathbf{Wsss} - \mathbf{Wp}}$$

- Peso Específico Saturado Superficialmente Seco (Pesss):

$$\mathbf{Pesss} = \frac{\mathbf{500}}{\mathbf{Wsss} + \mathbf{Wa} - \mathbf{Wp}}$$

- Peso Específico Aparente (Pea):

$$\mathbf{Pea} = \frac{\mathbf{Ws}}{(\mathbf{Wa} + \mathbf{Wsss} - \mathbf{Wp}) - (\mathbf{500} - \mathbf{Ws})}$$

Donde:

- Wsss : Peso de la muestra saturado superficialmente seco.
- Ws : Peso de la muestra seca.
- Wa : Peso de la fiola + agua.
- Wp : Peso de la fiola + agua + arena.

3.1.2.5.6. RESULTADOS

Cuadro 37. Resultados del Ensayo de Peso Especifico del Agregado Fino.

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso Saturado Superficialmente Seco (Wsss)	gr	500.00	500.00	500.00
Peso de Fiola + Arena (Wfa)	gr	838.00	669.00	777.70
Peso de Fiola + Arena + agua (Wp)	gr	1639.20	972.30	1580.40
Peso de Muestra Seca (Ws)	gr	491.60	490.80	493.40
Peso de la Fiola + Agua (Wa)	gr	1331.10	667.00	1274.30
Peso Especifico Masa (Pem)	gr/cm^3	**2.56**	**2.52**	**2.54**
Factor de Correccion por temperatura		1.0007	1.0006	1.0007
Peso Especifico Masa Corregido (Pem)	gr/cm^3	**2.56**	**2.52**	**2.55**
P.E. Saturado Superficialmente Seco (Pesss)	gr/cm^3	2.61	2.57	2.58
Peso Especifico Aparente (Pea)	gr/cm^3	2.68	2.65	2.63

$$\boldsymbol{Peso\ Especifico\ Promedio = 2.54\ gr/cm3}$$

3.1.2.6. ABSORCIÓN

3.1.2.6.1. NORMAS

NTP 400.022

ASTM C128

3.1.2.6.2. MARCO TEÓRICO

La absorción en los agregados, es el incremento en la masa del agregado por acción del agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

Se define como la cantidad de agua que un agregado necesita para pasar de la condición seca a la condición de saturado superficialmente seco. Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los poros internos en las partículas sin requisito de presión, este fenómeno se produce por capilaridad, no llegando a llenar absolutamente los poros indicados, pues siempre queda aire atrapado.

La capacidad de absorción del agregado se determina por el incremento de peso de una muestra secada al horno, luego de 24 horas de inmersión en agua y secado superficialmente. Esta condición se supone representa la que adquiere el agregado en el interior de una mezcla de concreto.

3.1.2.6.3. EQUIPOS

- ✓ Balanza.
- ✓ Bandeja metálica.
- ✓ Horno.

3.1.2.6.4. PROCEDIMIENTO

- Antes de realizar el ensayo de absorción, es necesario hacer el muestreo y el cuarteo del agregado a ser usado, para poder tener una muestra representativa.
- La muestra aproximadamente es de 500gr de agregado fino, el cual debe de estar seco.
- Se procede a sumergir el material en agua por 24horas, pasado este tiempo, se remueve el material del agua, se coloca en una bandeja para hacerla secar al aire, hasta que la muestra este en estado saturado superficialmente seco.
- Para poder determinar que la muestra está en el estado saturado superficialmente seco se utiliza un molde, con forma tronco-cónica, al cual se le llena la muestra en solo una capa que con ayuda de un pistón se va compactando haciendo caer el pistón aproximadamente de 5mm de altura, al término de la compactación se alisa la

superficie de la muestra y se levanta el molde verticalmente. Si existe humedad libre el cono conserva su forma. En este caso se repite en intervalos frecuentes, hasta que la muestra quede en forma cónica, terminada en punta sin desmoronarse. Esto indica que se ha alcanzado la condición de saturado superficialmente seca.

- Inmediatamente después se pesa 500gr, para luego llevarlo al horno para obtener su peso seco.

3.1.2.6.5. RESULTADOS

Cuadro 38. Resultados del Ensayo de Absorción.

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso Saturado Superficialmente Seco (Wsss)	gr	500.00	500.00	500.00
Peso de Muestra Seca (Ws)	gr	491.60	490.80	493.40
Absorcion	%	**1.68**	**1.84**	**1.32**

$$\boldsymbol{Absorcion\ Promedio} = \mathbf{1.61\%}$$

3.1.2.7. PESO UNITARIO SUELTO

3.1.2.7.1. NORMAS

NTP 400.017

ASTM C29

3.1.2.7.2. MARCO TEÓRICO

Se define peso volumétrico a la cantidad de material que entra en una unidad de medida en volumen tanto en estado suelto como compactado, la norma empleada para el desarrollo de la experiencia es NTP 400.017.

El peso unitario se ve influenciado por la granulometría, su perfil y textura superficial, su grado de compactación y su peso específico.

3.1.2.7.3. EQUIPOS

- ✓ Balanza.
- ✓ Molde metálico.
- ✓ Bandejas.
- ✓ Cucharon.

3.1.2.7.4. PROCEDIMIENTO

- Realizar el muestreo y cuarteo del material.
- Secar el material.
- El recipiente se llena con ayuda del cucharon hasta rebosar, descargando el agregado desde una altura no mayor a 50mm (2") por encima de la parte superior del recipiente. El agregado sobrante se elimina cuidadosamente con una regla, evitando cualquier compactación.
- Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido y el peso y volumen del recipiente, se registran estos datos.

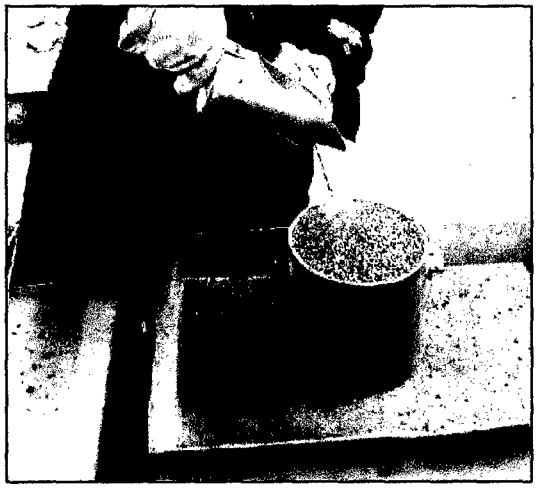


Figura 36. Llenado del molde con Agregado Fino.

Figura 37. Enrasado del molde.

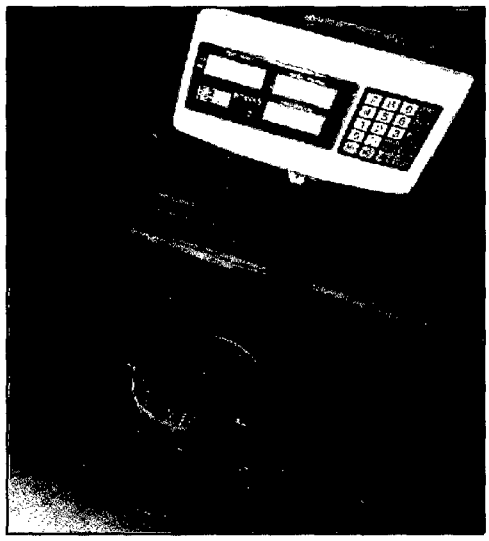


Figura 38. Pesado y toma de datos.

3.1.2.7.5. CÁLCULOS

- Peso de la muestra (Pm):

$$\mathbf{Pm = P(m + mld) - Pmld}$$

- Peso Unitario Suelto (PUS):

$$\mathbf{PUS = \frac{Pm}{Vmld}}$$

Donde:

- P(m+mld) : Peso de la muestra + Peso del molde.
- Pmld : Peso del molde.
- Vmld : Volumen del molde.

3.1.2.7.6. RESULTADOS

Cuadro 39. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Suelto del Agregado Fino.

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de Muestra + Peso de Molde (Pm+mld)	gr	8700.00	8650.00	8700.00
Peso del Molde (Pmld)	gr	4300.00	4300.00	4300.00
Peso de la Muestra (Pm)	gr	4400.00	4350.00	4400.00
Volumen del Molde (Vmld)	cm^3	3152.84	3152.84	3152.84
Peso Unitario Suelto (P.U.S.)	gr/cm^3	**1.40**	**1.38**	**1.40**

$$\boldsymbol{Peso\ Unitario\ Suelto\ Promedio = 1.39\ gr/cm3}$$

3.1.2.8. PESO UNITARIO VARILLADO

3.1.2.8.1. NORMAS

NTP 400.017

ASTM C29

3.1.2.8.2. MARCO TEÓRICO

Método del Varillado o Apisonado: Este método se realizà cuando el tamaño máximo del agregado es menor a 50 milímetros (2 pulgadas). Para este método utilizamos una muestra, la cual tendrá que ser secada al aire previamente.

3.1.2.8.3. EQUIPOS

- ✓ Balanza.
- ✓ Molde metálico.
- ✓ Bandejas.
- ✓ Cucharon.

✓ Varilla metálica lisa con punta semiesférica.

3.1.2.8.4. PROCEDIMIENTO

- Realizar el muestreo y cuarteo del material.
- Secar el material.
- Se llena la tercera parte del recipiente de medida y se nivela la superficie. Se apisona la capa del agregado con la barra compactadora, mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie en forma helicoidal. Se llena hasta las dos terceras partes de la medida y de nuevo se repite el compactado. Finalmente se llena el recipiente metálico con agregado hasta rebosar se vuelve a apisonar con la varilla también 25, para luego enrasar con una regla metálica o en su defecto con la misma varilla.
- Al compactar la primera capa se procura que la varilla no golpee el fondo con fuerza, al compactar las últimas dos capas la barra debe penetrar solo la última capa de agregado colocada.
- Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido y el peso y volumen del recipiente, se registran estos datos.

3.1.2.8.5. CÁLCULOS

- Peso de la muestra (Pm):

$$\mathbf{Pm = P(m + mld) - Pmld}$$

- Peso Unitario Varillado (PUV):

$$\mathbf{PUV = \frac{Pm}{Vmld}}$$

Donde:

- P(m+mld) : Peso de la muestra + Peso del molde.
- Pmld : Peso del molde.
- Vmld : Volumen del molde.

3.1.2.8.6. RESULTADOS

Cuadro 40. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Varillado del Agregado Fino.

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de Muestra + Peso de Molde (Pm+mld)	gr	9300.00	9400.00	9350.00
Peso del Molde (Pmld)	gr	4300.00	4300.00	4300.00
Peso de la Muestra (Pm)	gr	5000.00	5100.00	5050.00
Volumen del Molde (Vmld)	cm^3	3152.84	3152.84	3152.84
Peso Unitario Varillado (P.U.V.)	gr/cm^3	**1.59**	**1.62**	**1.60**

$$\boldsymbol{Peso\ Unitario\ Varillado\ Promedio} = \mathbf{1.60}\ \boldsymbol{gr/cm3}$$

3.2. CEMENTO

El cemento a utilizarse en la preparación del concreto en el desarrollo de la investigación es el Cemento Tipo IP producido por la Empresa CEMENTOS YURA S.A. debido a que es uno de los más utilizados en la ciudad de Arequipa.

Para realizar el diseño de mezcla es necesario conocer la densidad del Cemento Portland Tipo IP, en el siguiente ítem se determinara dicho valor.
Además del valor de la densidad es necesario conocer el tiempo de fraguado de la pasta de cemento para lo cual recurriremos al ensayo de la "Aguja de Vicat" y así tener un dato referencial del tiempo de fraguado del concreto y su tiempo de reutilización que es motivo de la presente investigación.

3.2.1. DENSIDAD DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP

3.2.1.1. NORMAS

NTP 334.005
ASTM C188

3.2.1.2. MARCO TEÓRICO

Método De Le Chatelier: La determinación del peso específico relativo de los cementos consiste en establecer la relación entre una masa de cemento (gr.) y el volumen (ml) de líquido que ésta masa desplaza en el matraz de Le Chatelier.
El volumenómetro es un recipiente de cristal cuya forma y dimensiones aparecen definidas en la NTP 334.005. Este recipiente esta lleno, por ejemplo, de tetracloruro de carbono o de petróleo de tal suerte que el nivel este comprendido entre las divisiones 0 y 1 que se hallan en la parte inferior del cuello.

La densidad real varia muy pocos de unos cementos a otros, oscilando entre 2.9 y 3.15 (gr/cm3). La determinación de la densidad relativa de los cementos consiste en establecer la relación entre una masa de cemento (gr) y el volumen (ml) del líquido que esta masa desplaza en el matraz de Le Chatelier.

3.2.1.3. EQUIPO

- ✓ Balanza, capaz de pesar 200g con un error admisible de ±0.005g
- ✓ Termómetro, graduado en decimas de grado Celsius.
- ✓ Frasco volumétrico de Le Chatelier, es un frasco de sección transversal circular que debe tener aproximadamente 250mm de altura, con una ampolla de aproximadamente 250cm3 de capacidad aproximada al cero de la escala; debe tener graduaciones en el cuello del mismo que permitan las lecturas de volumen con una aproximación de ±0.05cm3. deberá haber un espacio de por lo menos 10mm entre la marca de la graduación más alta y el punto más bajo del tapón de vidrio en posición.
- ✓ Líquido para ensayo, para la determinación de la densidad, se usara kerosene libre de agua o de nafta, con una densidad mayor a 0.73g/ml a 23°C±2°C

3.2.1.4. PROCEDIMIENTO

- Llenar el frasco de cualquier líquido cuyo peso específico sea menor de (1gr/cm3), para este caso se utilizara kerosene, hasta un punto del tallo (cuello) entre las marcas 0ml y 1ml. Si es necesario, después de llenar, secar el interior del frasco cerca del nivel del líquido.

- Registrar la primera lectura después que el frasco haya sido sumergido en un baño maría.
- Se pesa una porción de masa aproximadamente 64gr, de cemento y se le agrega al líquido contenido en el matraz teniendo cuidado de evitar salpicaduras y que el cemento se adhiera a las paredes inferiores del matraz en la parte sobre el nivel del líquido. Después que todo el cemento se haya introducido, rodar el frasco en posición inclinada de manera de liberar el aire de cemento hasta que dejen de desprenderse burbujas de aire. Si se ha añadido una cantidad apropiada de cemento, la posición final del nivel del líquido estará en algún punto de la serie de las graduaciones. Tomar la lectura final después que el frasco haya sumergido en baño maría.
- La diferencia entre la lectura inicial y final representa el volumen del líquido desplazado por la masa usada en el ensayo.

Calcular la densidad como sigue:

$$\rho = \frac{\boldsymbol{masa\ de\ cemento\ (gr)}}{\boldsymbol{volumen\ del\ liquido\ desplazado(cm3)}}$$

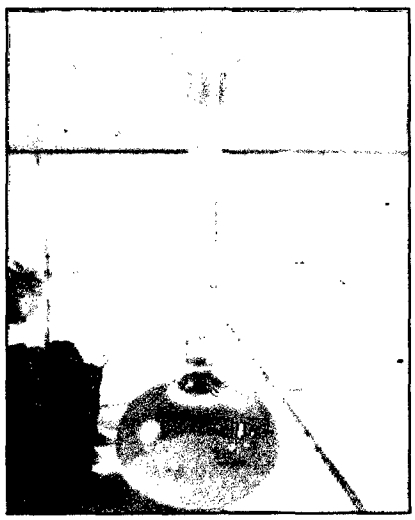


Figura 39. Matraz de Le Chatelier llenado con kerosene hasta la marca de 0ml a 1ml

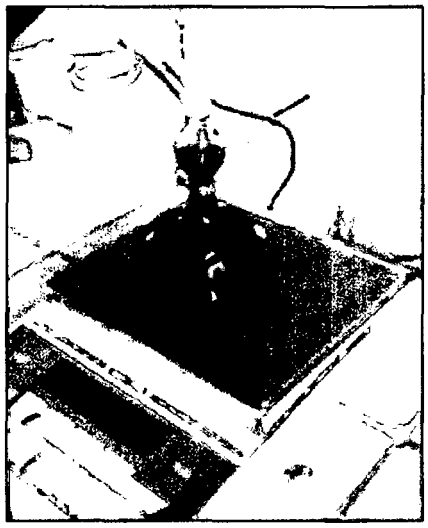


Figura 40. Colocación del cemento en el matraz.

3.2.1.5. RESULTADOS

Cuadro 41. Resultados del Ensayo de Densidad de Cemento.

METODO DE LE CHATELIER			
Datos	**M-1**	**M-2**	**M-3**
Peso cemento (gr)	63.00	63.10	63.30
Lectura 1	0.50	0.50	0.60
Lectura 2	20.70	20.80	20.90
Vol desplazado (ml)	20.20	20.30	20.30
P.E. (gr/cm3)	**3.12**	**3.11**	**3.12**

$$\boldsymbol{Densidad\ Promedio\ del\ Cemento} = 3.12\ gr/cm3$$

3.2.2. TIEMPO DE FRAGUADO

3.2.2.1. NORMAS

MTC E606 – 2000

ASTM C191

AASHTO T131

3.2.2.2. MARCO TEÓRICO

El tiempo de fraguado de una pasta de cemento varía de acuerdo a factores como temperatura, proporción de agua - cemento, tipo de cemento y aditivos añadidos. Para establecer un procedimiento estándar se escoge la proporción de agua - cemento resultante de la prueba de consistencia normal del cemento, no se incluyen aditivos y las demás condiciones se mantienen constantes.

El método a ser utilizado es el del aparato Vicat. Esto es una designación arbitraria de tiempo de fraguado. El fraguado inicial se produce cuando la aguja de 1 mm. de diámetro penetra 25 mm. y se toma la primera lectura de penetración, se repite el mismo procedimiento de 1 a 4 horas con un mínimo especificado de 45 minutos. Esta condición es aquella donde se ha perdido la plasticidad de la mezcla.

3.2.2.3. EQUIPO

- ✓ Balanza, con error admisible en uso de carga de 1.000g de +/- 0.1gr.
- ✓ Probetas graduadas, de capacidad en 25 ml (según AASHTO), de 150 a 250 ml. El error admisible debe ser hasta de +/- 1ml.
- ✓ Aparato de Vicat (Ver figura 44), la escala graduada, comparada con una escala patrón con exactitud de 0.1mm en todos los puntos, no debe indicar en ninguna parte una desviación mayor de 0.25mm.
- ✓ Recipientes metálicos.
- ✓ Espátula.
- ✓ Molde metálico tronco cónico de 40mm de altura, 60mm de diámetro interior superior y 70mm de diámetro interior inferior.
- ✓ Planchitas de vidrio y aluminio.
- ✓ Amasadora estándar.
- ✓ Cronometro.

3.2.2.4. PROCEDIMIENTO

- Antes de realizar el ensayo las condiciones de temperatura ambiental deben mantenerse entre 20°C y 27.5°C; la temperatura del agua de amasado, de la sala de

trabajo de laboratorio, deben ser de 23°C +/- 1.7°C la humedad relativa del laboratorio no será menor del 50%.

- Para la preparación de la pasta de cemento se mezcla 650g de cemento con una cantidad de agua determinada para las diferentes relaciones agua cemento (el agua puede ser medida en peso o volumen), para el mezclado utilizaremos una amasadora estándar en la cual amasamos a velocidad lenta durante 90 segundos, descansamos 15 segundos para finalmente amasar a velocidad rápida 90 segundos más.
- Una vez lista la pasta de cemento se procede al llenado del molde tronco cónico apoyado en una planchita de vidrio con ayuda de la espátula hasta el tope, el cual deberá ser enrasado con mucho cuidado.
- Terminada la preparación de la muestra se procede a trasladarla a la cámara húmeda, en la cual permanecerá por los primeros 30 minutos sin sufrir alteración alguna.
- Pasados los 30 minutos se procede a la lectura de la penetración de la aguja, para luego repetirse en un intervalo de 15min por lectura hasta obtener una penetración de 25mm o menos (lo cual indica el tiempo de fraguado). Las penetraciones deben estar separadas por lo menos 6mm entre si y 9mm del borde interior del molde.
- Evitar las vibraciones durante la penetración, la aguja de 1mm de diámetro debe ser recta y estar limpia, pues la acumulación de pasta en su periferia puede retardar la penetración, asi como la pasta en la punta puede aumentar la misma.
- El tiempo de fraguado final se determina invirtiendo el molde cuando la penetración sea igual o menor a 2mm y ensayando penetraciones hasta que la aguja no debe marca visible sobre la nueva superficie.

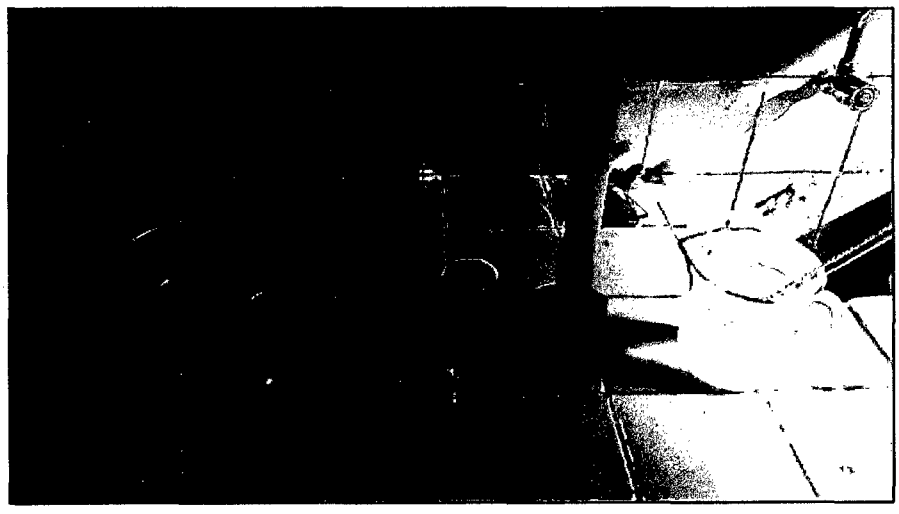


Figura 41. Materiales para el ensayo de tiempo de fraguado.

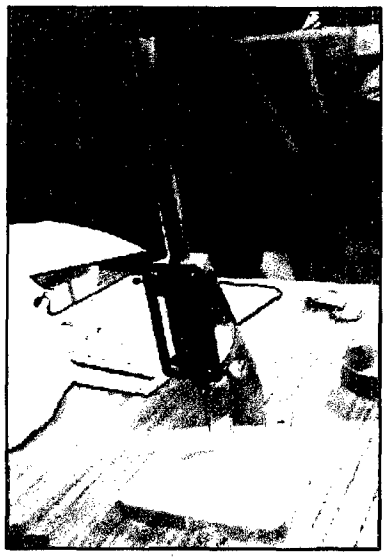


Figura 42. Aparato de Vicat.

Figura 43. Acondicionamiento del Aparato de Vicat.

Figura 44. Pesado del cemento.

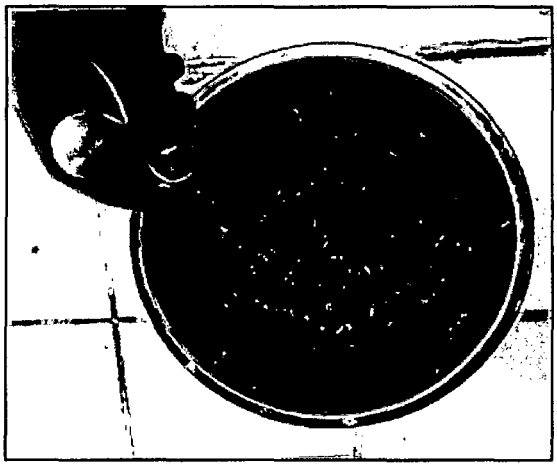


Figura 45. Preparación de la Pasta de cemento.

Figura 46. Muestras preparadas y listas para la penetración de la aguja de Vicat.

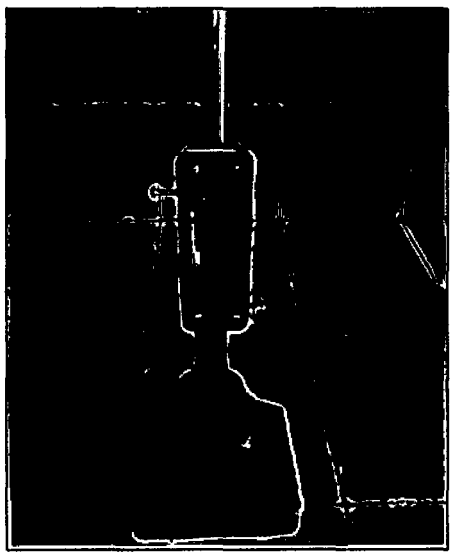


Figura 47. Penetración de la Aguja de Vicat en la Muestra de pasta de cemento.

3.2.2.5. RESULTADOS

Cuadro 42. Resultados del ensayo de Tiempo de Fraguado - Aguja de Vicat.

TIEMPO DE FRAGUADO						
Tiempo de Fraguado (min)	PENETRACION DE AGUJA DE VICAT (mm)					
	Relacion agua/cemento					
	0.49	0.53	0.57	0.59	0.63	0.68
0	40	40	40	40	40	40
30	40	40	40	40	40	40
45	40	40	40	40	40	40
60	40	40	40	40	40	40
75	40	40	40	40	40	40
90	40	40	40	40	40	40
105	40	40	40	40	40	40
120	40	40	40	40	40	40
135	40	40	40	40	40	40
150	40	40	40	40	40	40
165	39	40	40	40	40	40
180	39	40	40	40	40	40
195	39	40	40	40	40	40
210	38	39	40	40	40	40
225	38	39	40	40	40	40
240	37	39	40	40	40	40
255	36	38	39	40	40	40
270	31	37	39	40	40	40
285	28	33	38	39	40	40
300	**25**	30	38	39	40	40
315	20	26	36	38	40	40
330	16	**25**	34	36	39	40
345	10	20	30	33	39	40
360	4	15	**25**	30	38	39
375	1	9	16	**25**	36	38
390	0	3	9	18	30	36
405		0	4	6	**24**	33
420			1	1	19	30
435			0	0	8	**25**
450					2	18
465					0	6
480						1
495						0

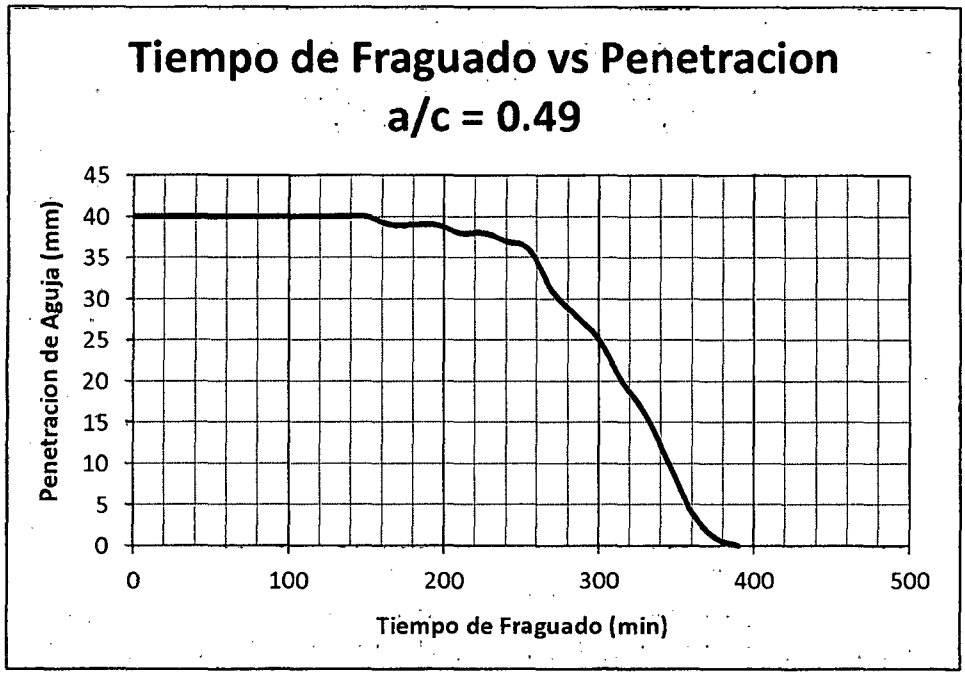


Figura 48. Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.49

Tiempo de Fraguado del Cemento* = 300 *min.

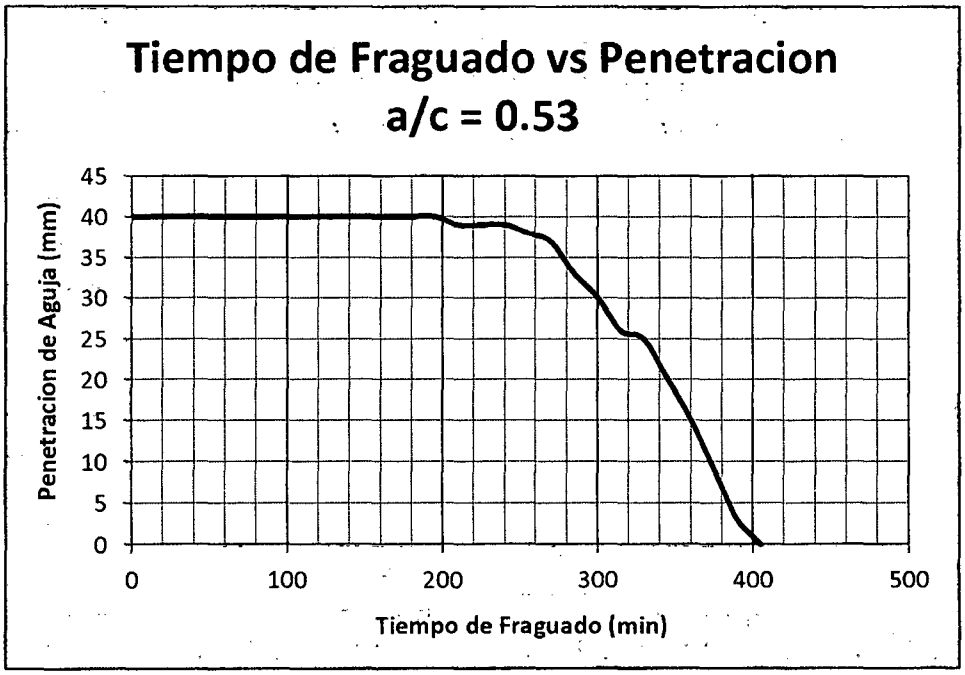


Figura 49. Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.53

Tiempo de Fraguado del Cemento* = 320 *min.

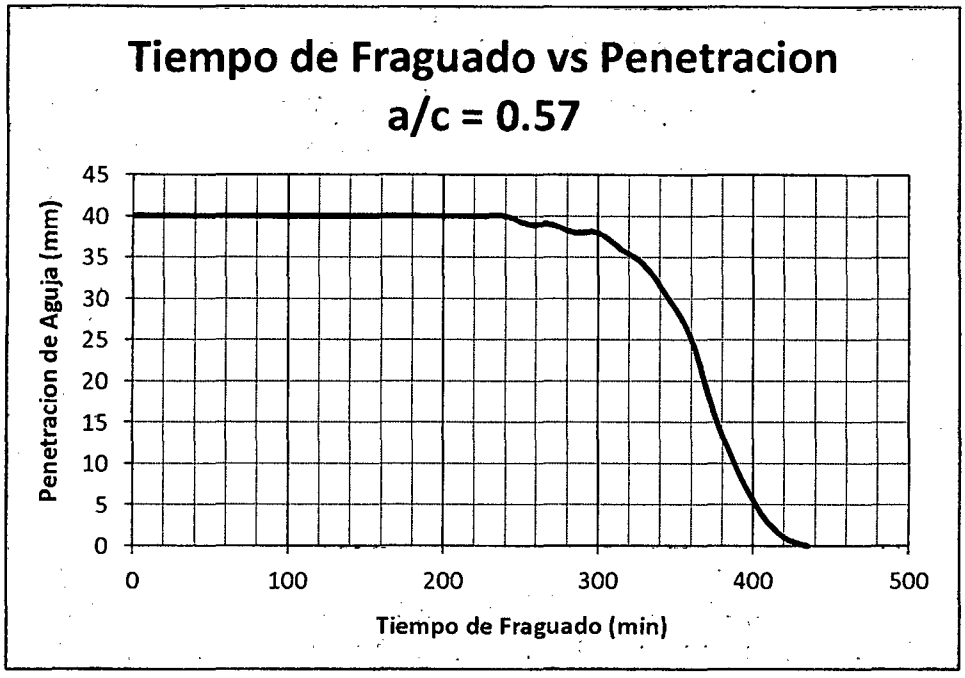


Figura 50. Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.57

Tiempo de Fraguado del Cemento* = 360 *min.

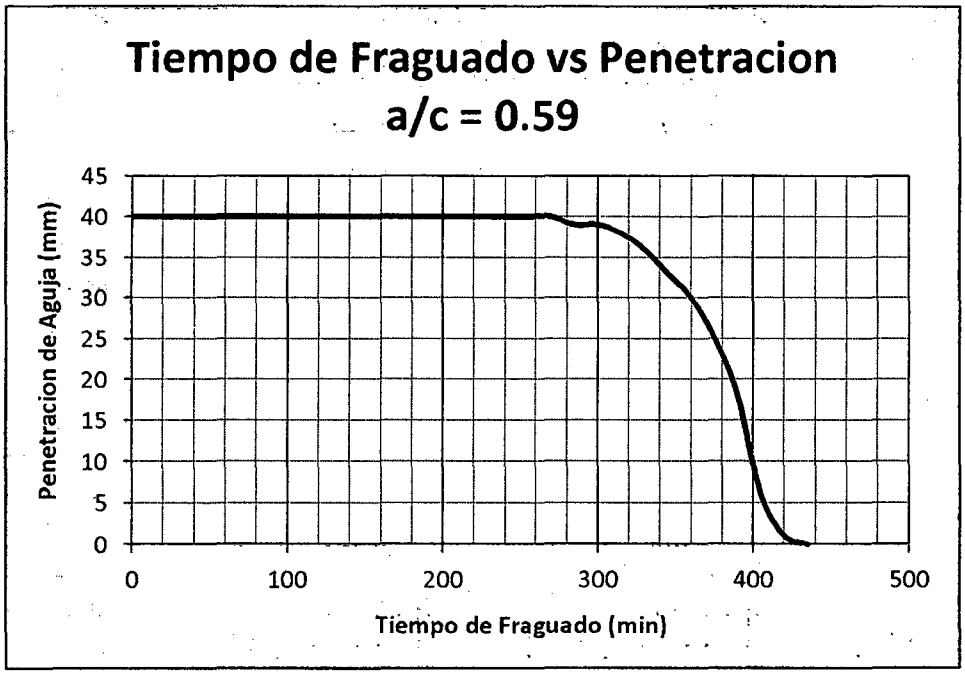


Figura 51. Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.59

Tiempo de Fraguado del Cemento* = 375 *min.

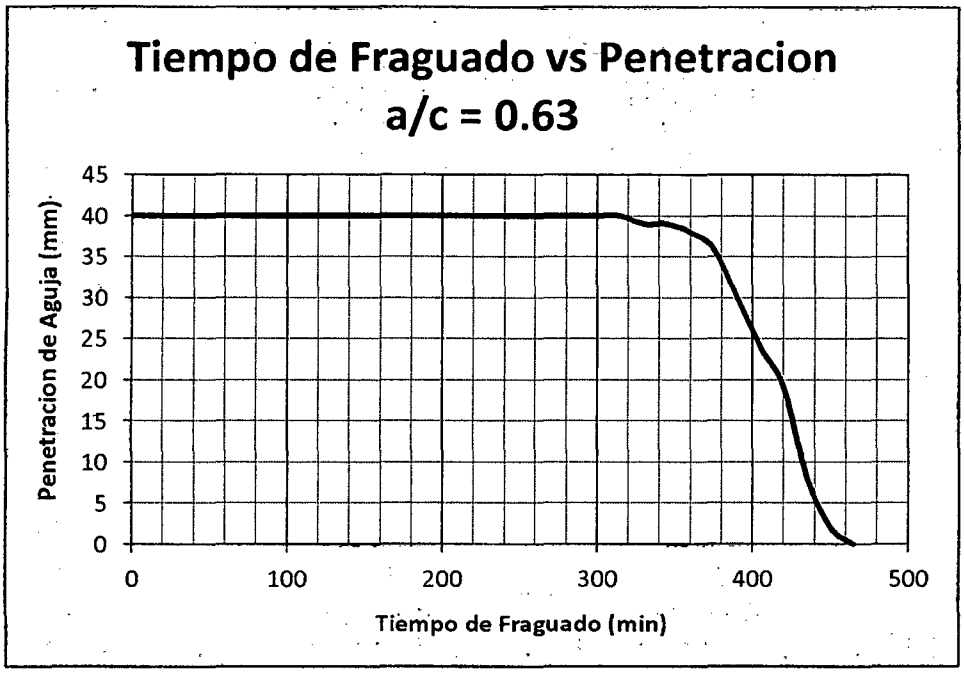


Figura 52. Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.63

Tiempo de Fraguado del Cemento* = 400 *min.

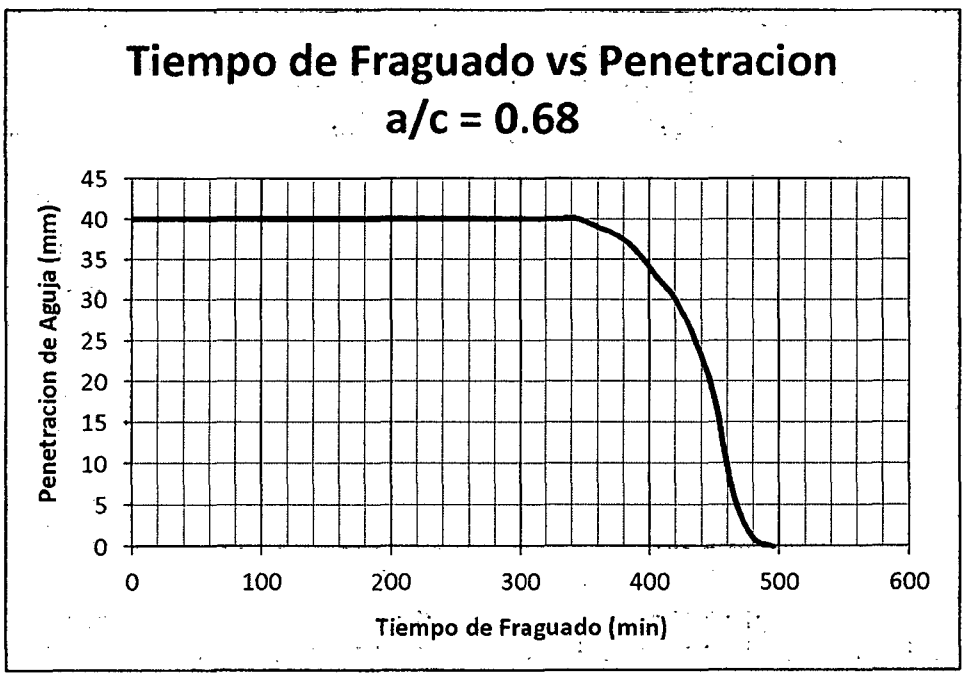


Figura 53. Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.68

Tiempo de Fraguado del Cemento* = 435 *min.

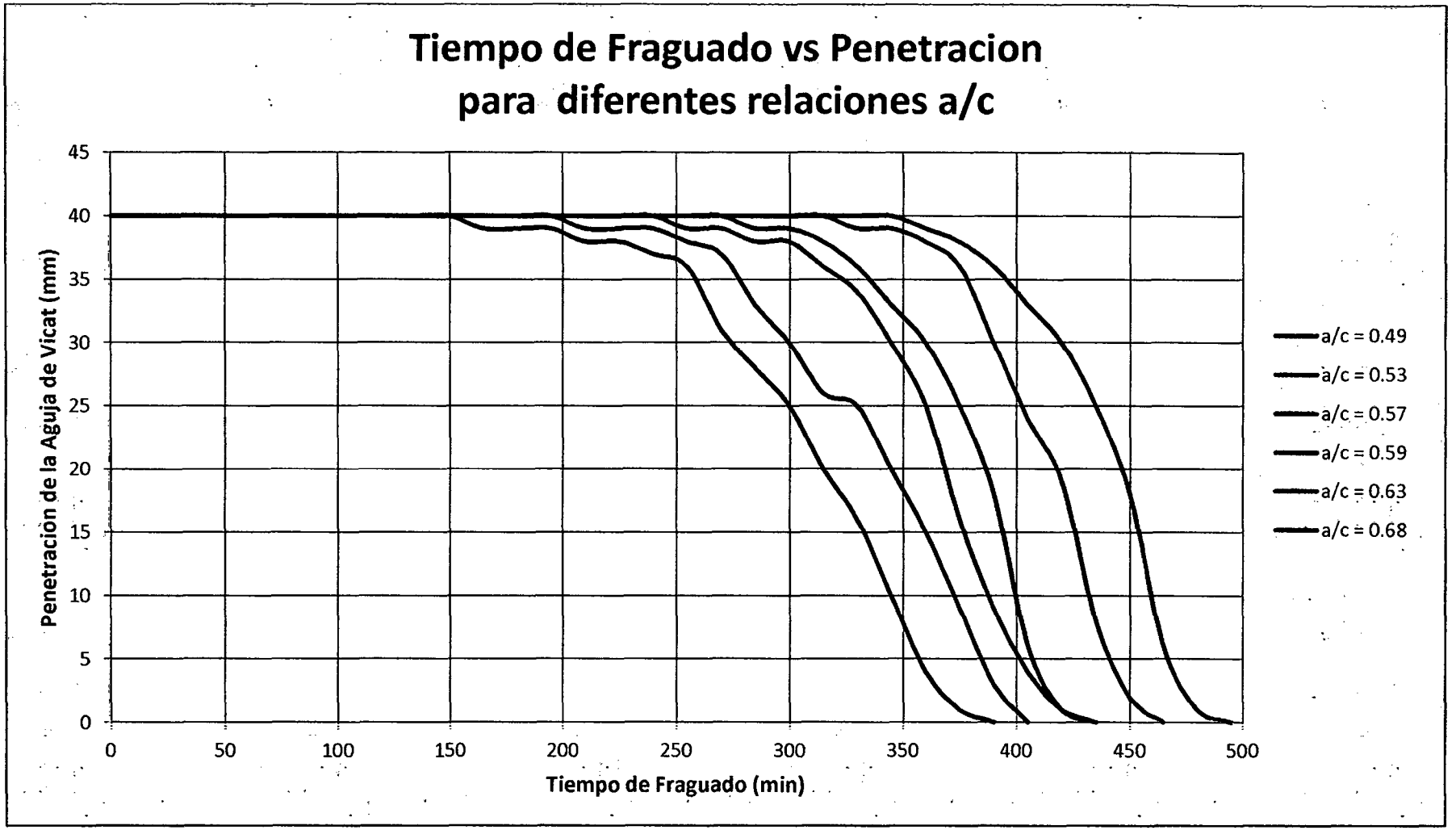


Figura 54. Tiempo de Fraguado vs Penetración para diferentes relaciones a/c

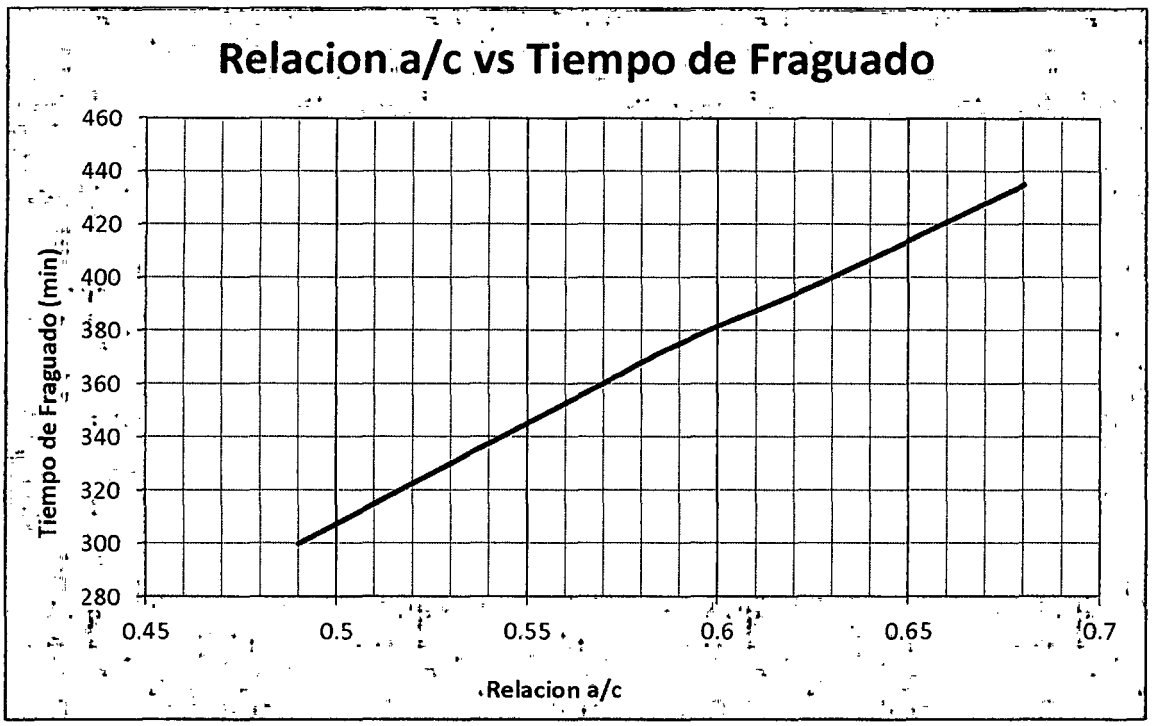


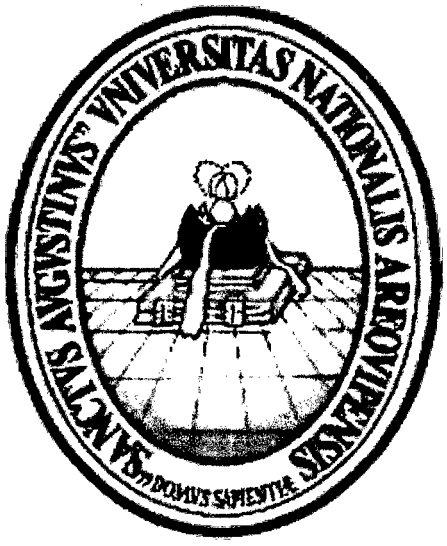
Figura 55. Relación a/c vs Tiempo de Fraguado

3.2.2.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los diferentes tiempos de fraguados corresponden a distintas relaciones agua/cemento, de los cuales 2 de ellos corresponderán a las relaciones a/c iniciales de los diseños de mezcla que se determinan en el siguiente capítulo. A continuación se mostrara los valores correspondientes de tiempo de fraguado para dichas relaciones agua cemento.

Cuadro 43. Tiempo de fraguado para las relaciones a/c correspondientes a los diseños de mezcla de f'c=210kg/cm2 y f'c=280kg/cm2

TIEMPO DE FRAGUADO		
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm2)	RELACION A/C	TIEMPO DE FRAGUADO (min)
210	0.59	372.6
280	0.50	308.9



CAPITULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO

4.1. INTRODUCCIÓN

El concreto es el material más utilizado en la industria de la construcción, su uso se ha aplicado no sólo a la construcción de grandes edificaciones sino también a diferentes obras de Infraestructura (canales, puentes, pavimentos rígidos, etc).

El concreto deberá cumplir con los requisitos básicos de ser económico, ser fácil de colocar, ser resistente y durable. Estas características pueden ser logradas con una selección adecuada de los componentes que conforman el concreto, tanto en su calidad como en las proporciones en que éstos se combinan. A esta selección se le llama diseño de mezcla.

4.2. DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de mezcla busca determinar una combinación adecuada práctica y económica de las proporciones de los componentes del concreto, que cumplan los requerimientos de diseño exigido en los sistemas constructivos. Existen diferentes métodos de Diseños de Mezcla; aunque no son directamente comparables, algunos pueden ser muy complejos como consecuencia a la existencia de múltiple variables de las que dependen los resultados de dichos métodos, aún así, se desconoce el método que ofrezca mejores

resultados, sin embargo, existe la posibilidad de seleccionar alguno de ellos según sea el caso y producir mezclas convenientes de concreto.

Uno de los métodos más común es el método recomendado por el comité del ACI 211.1. Sin embargo debemos recordar que cualquier método de diseño solo proporciona una primera aproximación de las proporciones. Estas deben ser comprobadas a través de mezclas de prueba en el laboratorio ó en obra y ajustadas.

4.2.1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

- La resistencia y durabilidad (calidad) del concreto esta principalmente relacionada con la relación agua-cemento de la pasta y con la granulometría y tipo de partículas del agregado. Pero además del requisito de trabajabilidad de un concreto afecta la relación agua-cemento y la proporción relativa de agregados gruesos y finos a usarse.
- Una vez determinada la resistencia y trabajabilidad requeridas, los datos de relación agua-cemento (grado concentración) y la cantidad aproximada de agua para alcanzar la trabajabilidad requerida, se toman de la tabla del tipo y tamaño del agregado.
- Luego se calcula el cemento, los agregados (el % de arena se toma de la tabla de acuerdo con su módulo de Finura y tamaño máximo del agregado)
- Se calculan entonces por volumen absoluto o volumen de sólidos, las cantidades de material necesarios para la mezcla.
- Las proporciones de la mezcla de concreto, deben ser seleccionadas para proporcionar la manejabilidad, resistencia y durabilidad necesarias para el trabajo específico que se esté realizando.
- La manejabilidad, incluyendo propiedades satisfactorias de acabado, abarca rasgos vagamente definidos en los términos de trabajabilidad y consistencia.
- Se considerara a la trabajabilidad como la propiedad del concreto que determina su capacidad de ser colocado, compactado y acabado sin la presencia perjudicial de segregación, lo cual involucra los conceptos de plasticidad, cohesividad y compactibilidad.
- La trabajabilidad de una mezcla depende de la granulometría, perfil y proporciones del agregado, cantidad de cemento, presencia de aire incorporado, los aditivos y de la consistencia.

- Los procedimientos de diseño de estas recomendaciones toman en cuenta estos factores.

4.2.2. INFORMACIÓN REQUERIDA DE LOS MATERIALES

- Los procedimientos de diseño de estas recomendaciones toman en cuenta estos factores..
- Granulometría de los agregados; favorece la gradación o acomodamiento de los agregados partículados en la masa de concreto, y se relaciona con la cantidad de superficie en la interfase con la pasta de cemento en la mezcla en estado fresco.
- Modulo de finura de los agregados; es la proporción de los valores de retenidos acumulados en el tamizaje hasta e incluido el tamiz 100, dividido por 100, condiciona el tipo de concreto como concreto de agregados gruesos (ciclópeo), agregados medios (normal), agregados finos (liviano), además de las condiciones superficiales y efecto terminal como concreto arquitectónico.
- Densidad aparente de los agregados; las densidades aparentes incluyen la humedad normal de los agregados con porcentajes de humedades en los poros de las partículas de los agregados sobre el volumen total del agregado.
- Es la característica principal para optimizar tiempos de mezcla, tiempos de fraguado y curado de las mezclas, como también en el proceso constructivo los empujes a tener sobre las superficies de contacto en encofrados de los elementos de concreto.
- Absorción de los agregados; determinante de la capacidad de adhesión mecánica entre la superficie de los agregados y la pasta de cemento, y como consecuencia propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión, a la tensión y dureza del concreto terminado.
- Masa unitaria de los agregados; las masas de los agregados por unidad de volumen, relaciona la capacidad de acomodamiento de los agregados, en el caso de las densidades compactadas, y las densidades en estado aparentemente seco las condiciones de manejabilidad y consistencia de la mezcla de concreto en estado fresco.
- Humedad de los agregados; la humedad se convierten en el factor modificador de la relación agua cemento de las mezclas para evita excesos de fluidez y consistencias inmanejables en las mezclas frescas.

- Tipo de cemento y Densidad del cemento; el tipo de cemento según las condiciones especiales de uso al elemento constructivo que se ejecuta. y su densidad para corroborar con exactitud su consumo por metro cúbico a construir o por kilogramo a vaciar.

4.3. PROCEDIMIENTO Y MÉTODO DE DISEÑO

4.3.1. MÉTODO DE DISEÑO ACI

Este procedimiento considera nueve pasos para el proporcionamiento de mezclas de concreto normal, incluidos el ajuste por humedad de los agregados y la corrección a las mezclas de prueba.

- El primer paso contempla la selección del revenimiento, cuando este no se especifica el informe del ACI incluye una tabla en la que se recomiendan diferentes valores de revenimiento de acuerdo con el tipo de construcción que se requiera. Los valores son aplicables cuando se emplea el vibrado para compactar el concreto, en caso contrario dichos valores deben ser incrementados en dos y medio centímetros.

- La elección del tamaño máximo del agregado, segundo paso del método, debe considerar la separación de los costados de la cimbra, el espesor de la losa y el espacio libre entre varillas individuales o paquetes de ellas. Por consideraciones económicas es preferible el mayor tamaño disponible, siempre y cuando se utilice una trabajabilidad adecuada y el procedimiento de compactación permite que el concreto sea colado sin cavidades o huecos. La cantidad de agua que se requiere para producir un determinado revenimiento depende del tamaño máximo, de la forma y granulometría de los agregados, la temperatura del concreto, la cantidad de aire incluido y el uso de aditivos químicos.

- Como tercer paso, el informe presenta una tabla con los contenidos de agua recomendables en función del revenimiento requerido y el tamaño máximo del agregado, considerando concreto sin y con aire incluido.

- Como cuarto paso, el ACI proporciona una tabla con los valores de la relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 días que se requiera, por supuesto la resistencia promedio seleccionada debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados las pruebas con valores bajos.
  En una segunda tabla aparecen los valores de la relación agua/cemento para casos de exposición severa.

- El contenido de cemento se calcula con la cantidad de agua, determinada en el paso tres, y la relación agua cemento, obtenida en el paso cuatro; cuando se requiera un contenido mínimo de cemento o los requisitos de durabilidad lo especifiquen, la mezcla se deberá basar en un criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento, esta parte constituye el quinto paso del método.

- Para el sexto paso del procedimiento el ACI maneja una tabla con el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto, los valores dependen del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. El volumen de agregado se muestra en metros cúbicos con base en varillado en seco para un metro cúbico de concreto, el volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un metro cúbico de concreto, multiplicándolo por el peso volumétrico de varillado en seco.

- Hasta el paso anterior se tienen estimados todos los componentes del concreto, excepto el agregado fino, cuya cantidad se calcula por diferencia.
  Para este séptimo paso, es posible emplear cualquiera de los dos procedimientos siguientes: por peso o por volumen absoluto.

- El octavo paso consiste en ajustar las mezclas por humedad de los agregados, el agua que se añade a la mezcla se debe reducir en cantidad igual a la humedad libre contribuida por el agregado, es decir, humedad total menos absorción.

- El último paso se refiere a los ajustes a las mezclas de prueba, en las que se debe verificar el peso volumétrico del concreto, su contenido de aire, la trabajabilidad

apropiada mediante el revenimiento y la ausencia de segregación y sangrado, así como las propiedades de acabado. Para correcciones por diferencias en el revenimiento, en el contenido de aire o en el peso unitario del concreto el informe ACI 211.1-91 proporciona una serie de recomendaciones que ajustan la mezcla de prueba hasta lograr las propiedades especificadas en el concreto.

4.3.1.1. INFORMACION NECESARIA

Necesitamos conocer las propiedades de los materiales, a continuación resumiremos las características de estos.

- CEMENTO
  - Marca: Yura
  - Tipo de Cemento: Cemento TIPO IP
  - Peso Específico: 3.12 gr/cm3
- AGUA
  - Procedencia: Agua Potable
- AGREGADOS
  - Origen: Cantera "LA PODEROSA"
  - Tipo: Agregado Chancado
  - Perfil y Textura: Angular rugosa

Cuadro 44. Parámetros Físicos de los Agregados para el Concreto

PARAMETROS FISICOS DE LOS AGREGADOS			
DESCRIPCION	**AGREGADO FINO**	**AGREGADO GRUESO**	**UND**
Peso Especifico SSS	2.54	2.74	g/cm3
% Cont. de Humedad	0.27	0.22	%
% Absorción	1.61	0.69	%
Peso Unitario Suelto	1.39	1.48	g/cm3
Peso Unitario Varillado	1.60	1.68	g/cm3
Modulo de Fineza	2.88	6.71	
% Pasante Malla #200	1.47		%
Tamaño Máximo Nominal		0.75	pulg

4.3.1.2. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLAS f'c=210 kg/cm2

4.3.1.2.1. SELECCIÓN DE RESISTENCIA PROMEDIO

Cuadro 45. Resistencias promedio en función de las resistencias de diseño

F'c (kg/cm2)	F'cr (kg/cm2)
Menor a 210	f'c + 70
210 a 350	f'c + 84
Mayor a 350	f'c + 98

De acuerdo al cuadro anterior se tiene que la resistencia promedio a diseñar es:

Cuadro 46. Resistencia promedio a diseñar – f'c=210kg/cm2

F'cr PROMEDIO A DISEÑAR	
F'c (kg/cm2)	**F'cr (kg/cm2)**
210	294

4.3.1.2.2. SELECCIÓN DEL TMN DEL AGREGADO GRUESO

Para la presente investigación se tomará en cuenta un tamaño máximo nominal de mayor uso en la actualidad en el campo de la construcción.

TMN	**3/4"**

4.3.1.2.3. SELECCIÓN DE LA CONSISTENCIA DE LA MEZCLA

Para aspectos de esta investigación se considera una consistencia fluida, la cual podemos definir con ayuda del siguiente cuadro:

Cuadro 47. Asentamientos máximos y mínimos del concreto según el tipo de construcción

TIPO DE CONSTRUCCION	REVENIMIENTO (pulg)	
	MAXIMO	MINIMO
Muros de cimentacion y zaptas reforzadas	3	1
Muros de sub estructuras, y zapatas sin refuerzo	**3**	**1**
Vigas y muros reforzados	**4**	**1**
Columnas de edificios	4	1
Losas y pavimentos	3	1
Concreto Ciclopeo	2	1

SLUMP:	3"- 4"

4.3.1.2.4. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA DE MEZCLADO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO

La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto necesaria para obtener el asentamiento deseado, depende del tamaño máximo, perfil, textura y granulometría de los agregados, asi como de la cantidad de aire incorporado, no siendo apreciablemente afectada por la cantidad de cemento.

El cuadro N° 48, nos proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado con o sin aire incorporado. Como se observara, el cuadro N° 48 no toma en cuenta para la estimación del agua de mezclado las incidencias del perfil, textura y granulometría de los agregados.

Debemos hacer presente que estos valores tabulados son lo suficientemente aproximados para una primera estimación y que dependiendo del perfil, textura y granulometría de los agregados, los valores requeridos de agua de mezclado pueden estar algo por encima o por debajo de dichos valores.

Cuadro 48. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO	Agua en lt/m3, para los TMN's de Agregado Grueso y Consistencia Indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin Aire Incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado, en porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con Aire Incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-
Cantidad aproximada de aire atrapado, en porcentaje	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente: Diseño de Mezclas, Enrique Riva Lopez

Vagua	205 l/m3

4.3.1.2.5. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO EN LA MEZCLA

En el caso de la determinación del porcentaje de aire atrapado en la mezcla es necesario recurrir al cuadro 48 en el que podemos observar que el contenido de aire atrapado aproximado en función del tamaño máximo nominal del agregado y considerando que se desea un concreto sin aire incorporado es de:

% aire atrapado	2 %

4.3.1.2.6. SELECCIÓN DE LA RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)

La relación agua/cemento requerida es determinada teniendo en consideración no solamente la resistencia sino también factores como durabilidad y propiedades de acabado del concreto.

Desde que diferentes agregados y cementos producen generalmente diferentes resistencias para una misma relación agua/cemento, es muy útil tener o desarrollar las interrelaciones entre la resistencia y la relación agua/cemento para los materiales a ser usados en la preparación de la mezcla.

En el caso de no contar con estos datos, valores aproximados y relativamente conservadores para concretos preparados con cemento Portland Tipo I pueden ser tomados del cuadro 49 si en la preparación del concreto se utilizan materiales típicos, entonces las relaciones agua/cemento tabuladas producirán las resistencias mostradas.

La resistencia promedio que se seleccione, deberá exceder a la resistencia especificada por el proyectista en un margen suficiente como para mantener el número de ensayos dentro de los límites especificados.

Cuadro 49. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS (fcp) (kg/cm2)	RELACION AGUA CEMENTO DE DISEÑO EN MEZCLA	
	CONCRETO S/AIRE INCORP.	CONCRETO C/AIRE INCORP.
450	0.38	
400	0.42	
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.60
150	0.79	0.70

PARA 210 kg/cm2	
a/c	0.55

4.3.1.2.7. CÁLCULO DEL FACTOR CEMENTO PRELIMINAR

Teniendo la relación Agua – Cemento preliminar se calculó el Factor Cemento, teniendo en cuenta que el Volumen Unitario de agua es 205 lt/m3, entonces:

PARA 210 kg/cm2		
FACTOR CEMENTO =	205/0.55 =	372.7 kg/m3

4.3.1.2.8. DETERMINACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE AGREGADO GRUESO/FINO Y MEZCLA DE PRUEBA

Los agregados esencialmente del mismo tamaño máximo y granulometría producirán concreto de satisfactoria trabajabilidad, cuando un volumen dado de agregado grueso seco y compactado, es empleado por unidad de volumen de concreto.

La tabla 50, nos proporciona valores aproximados para estos volúmenes de agregado, como puede observarse, para similar trabajabilidad, el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto, depende solamente de su tamaño máximo y del módulo de fineza del agregado fino.

Cuadro 50. Volumen de Agregado Grueso por unidad de volumen de concreto

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO	Volumen de Agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes modulos de fineza de agregado fino			
	MODULO DE FINEZA DEL AGREG. FINO			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Conociendo el módulo de fineza del agregado fino y el TM del agregado grueso y utilizando la tabla 50 se obtiene que:

Modulo de Fineza A.F.	2.88
Tamaño Maximo Nominal	3/4"
Vol. Seco y Compactado A.G.	0.62
Peso Seco Ag. Grueso	1041.6

Ahora procedemos a calcular los volúmenes absolutos de los componentes del concreto sin incluir el volumen del agregado fino, para posteriormente sumarlos, resultando así el siguiente cuadro.

Cuadro 51. Volúmenes absolutos de los componentes del concreto sin considerar el agregado fino f'c=210kg/cm2

Cemento	0.119 m3
Agua	0.205 m3
Aire	0.020 m3
Ag. Grueso	0.380 m3
Vol TOTAL	0.725 m3

A continuación con los valores del cuadro 51 y aplicando el método de los volúmenes absolutos, el cual nos indica que el volumen absoluto del agregado fino es igual a la diferencia entre el volumen unitario de concreto y la suma de los volúmenes absolutos de los ingredientes ya conocidos (cemento, agua, aire y agregado grueso).

Por lo tanto si le restamos a 1m3 el valor de 0.725m3 obtenemos, y multiplicando por el peso específico del agregado fino obtenemos el peso de agregado fino requerido en 1m3 de concreto.

Vol. Ag. Fino	0.275 m3
Peso Ag. Fino	699.491 kg

Cuadro 52. Dosificación preliminar para 1m3 de concreto – f'c=210kg/cm2

VALORES DE DISEÑO	
Cemento	372.73 kg/m3
Agua de diseño	205.00 lt/m3
Ag. Grueso	1041.60 kg/m3
Ag. Fino	699.49 kg/m3

4.3.1.2.9. CORRECIÓN POR HUMEDAD DE AGREGADOS

Generalmente los agregados utilizados en la preparación de un concreto, se encuentran húmedos por lo cual sus pesos secos se incrementan en el porcentaje de agua que contengan, tanto agua absorbida como superficial. Así el agua de mezclado añadida a la colada, debe ser reducida en una cantidad igual a la húmeda libre aportada por los agregados, considerándose como tal el contenido total de humedad del agregado menos su porcentaje de absorción.

Cuadro 53. Corrección por humedad del agregado – f'c=210kg/cm2

CORRECCION POR HUMEDAD		
	AG. FINO	AG. GRUESO
Humedad - Absorcion	-1.340	-0.470
(Peso Agregado)*(H-A)	-9.373	-4.896
Peso	690.118	1036.704

Posteriormente obtenemos el aporte por humedad de los agregados y se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro 54. Aporte de Humedad de los componentes del concreto – f'c=210kg/cm2

APORTE DE HUMEDAD	
Agregado Fino	-9.373
Agregado Grueso	-4.896
Aporte de Humedad Agregados	-14.269
Agua Efectiva	219.269

Ahora obtenemos los valores para una dosificación de 1m3 de concreto con la respectiva corrección por humedad anteriormente vista.

Cuadro 55. Peso de materiales corregidos para 1 m3 de concreto – f'c=210kg/cm2

MATERIALES CORREGIDOS	
Cemento	372.727 kg/m3
Ag. Fino	690.118 kg/m3
Ag. Grueso	1036.704 kg/m3
Agua Efectiva	219.269 kg/m3

Ahora presentamos las proporciones en peso para un concreto f'c=210kg/cm2.

CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO
1.00	1.85	2.78

Sabiendo que:

1 Bolsa de cemento => Volumen= 1p3	
Peso	42.5 kg
1m3	35.31 p3

Podemos obtener los valores de los materiales en volúmenes para 1 m3 de concreto.

Cuadro 56. Volúmenes de materiales corregidos para 1m3 de concreto - f'c=210kg/cm2

MATERIALES CORREGIDOS	
Cemento	8.77 pie3
Agregado Fino	17.53 pie3
Agregado Grueso	24.73 pie3
Agua	25.00 lt/bol

Así obtenemos las proporciones en volumen para un concreto 210 kg/cm2.

CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO
1.00	2.00	2.82

4.3.1.3. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLAS f'c=280 kg/cm2

4.3.1.3.1. SELECCIÓN DE RESISTENCIA PROMEDIO

De acuerdo al cuadro 45 para un concreto de f'c = 280kg/cm2 se tiene la siguiente resistencia promedio a diseñar:

Cuadro 57. Resistencia promedio a diseñar – f'c=280kg/cm2

F'cr PROMEDIO A DISEÑAR	
F'c (kg/cm2)	F'cr (kg/cm2)
280	364

4.3.1.3.2. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO

Al igual que en el concreto de f'c=210kg/cm2 se tiene que:

TMN	**3/4"**

4.3.1.3.3. SELECCIÓN DE LA CONSISTENCIA DE LA MEZCLA

Para aspectos de esta investigación se considera una consistencia fluida y con ayuda del cuadro 47, al igual que en el anterior diseño el slump será de:

SLUMP:	**3"- 4"**

4.3.1.3.4. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA DE MEZCLADO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO

Bajo las mismas condiciones que el concreto de f'c=210kg/cm2 y teniendo en cuenta el cuadro 48 se tiene que:

Vagua	205 l/m3

4.3.1.3.5. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO EN LA MEZCLA

Bajo las mismas condiciones que el concreto de f'c=210kg/cm2 y con ayuda del cuadro 48 se tiene que:

% aire atrapado	2 %

4.3.1.3.6. SELECCIÓN DE LA RELACION AGUA – CEMENTO (a/c)

Al igual que en el diseño anterior y con ayuda de la tabla 49 se tiene que:

PARA 280 kg/cm2	
a/c	0.45

4.3.1.3.7. CÁLCULO DEL FACTOR CEMENTO

Teniendo la relación Agua/Cemento preliminar se calculó el Factor Cemento, teniendo en cuenta que el Volumen Unitario de agua es 205 lt/m3, entonces:

PARA 280 kg/cm2		
FACTOR CEMENTO =	205/0.45 =	455.6

4.3.1.3.8. DETERMINACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE AGREGADO GRUESO/FINO Y MEZCLA DE PRUEBA

Conociendo el módulo de fineza del agregado fino y el TM del agregado grueso y utilizando el cuadro 50 se obtiene que:

Modulo de Fineza A.F.	2.88
Tamaño Maximo Nominal	3/4"
Vol. Seco y Compactado A.G.	0.62
Peso Seco Ag. Grueso	1041.6

Ahora procedemos a calcular los volúmenes absolutos de los componentes del concreto sin incluir el volumen del agregado fino, para posteriormente sumarlos, resultando así el siguiente cuadro.

Cuadro 58. Volúmenes absolutos de los componentes del concreto sin considerar el agregado fino f'c=280kg/cm2

Cemento	0.146 m3
Agua	0.205 m3
Aire	0.020 m3
Ag. Grueso	0.380 m3
Vol TOTAL	0.751 m3

A continuación con los valores del cuadro 51 y aplicando el método de los volúmenes absolutos, el cual nos indica que el volumen absoluto del agregado fino es igual a la diferencia entre el volumen unitario de concreto y la suma de los volúmenes absolutos de los ingredientes ya conocidos (cemento, agua, aire y agregado grueso).

Por lo tanto si le restamos a 1m3 el valor de 0.751m3 obtenemos, y multiplicando por el peso específico del agregado fino obtenemos el peso de agregado fino requerido en 1m3 de concreto.

Vol. Ag. Fino	0.249 m3
Peso Ag. Fino	632.060 kg

Cuadro 59. Dosificación preliminar para 1m3 de concreto – f'c=280kg/cm2

VALORES DE DISEÑO	
Cemento	455.56 kg/m3
Agua de diseño	205.00 lt/m3
Ag. Grueso	1041.60 kg/m3
Ag. Fino	632.06 kg/m3

4.3.1.3.9. CORRECIÓN POR HUMEDAD DE AGREGADOS

Por lo anteriormente expuesto en el diseño de f'c=210kg/cm2 tenemos:

Cuadro 60. Corrección por humedad del agregado – f'c=280kg/cm2

CORRECCION POR HUMEDAD		
	AG. FINO	AG. GRUESO
Humedad - Absorcion	-1.340	-0.470
(Peso Agregado)*(H-A)	-8.018	-4.896
Peso	590.327	1036.704

Posteriormente obtenemos el aporte por humedad de los agregados y se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro 61. Aporte de Humedad de los componentes del concreto – f'c=280kg/cm2

APORTE DE HUMEDAD	
Agregado Fino	-8.018
Agregado Grueso	-4.896
Aporte de Humedad Agregados	-12.913
Agua Efectiva	217.913

Ahora obtenemos los valores para una dosificación de 1m3 de concreto con la respectiva corrección por humedad anteriormente vista.

Cuadro 62. Peso de materiales corregidos para 1 m3 de concreto – f'c=280kg/cm2

MATERIALES CORREGIDOS	
Cemento	455.556 kg/m3
Ag. Fino	623.591 kg/m3
Ag. Grueso	1036.704 kg/m3
Agua Efectiva	218.365 kg/m3

De las pruebas realizadas en laboratorio concluimos que la cantidad de agua necesaria para el diseño de mezcla es mayor, asi que corregiremos dicho valor obteniendo una dosificación optimizada. La cantidad de agua a aumentar por m3 es de 8.71 lt, por lo tanto:

Cuadro 63. Dosificación en peso de los materiales para 1m3 de concreto f'c=280kg/cm2

MATERIALES CORREGIDOS	
Cemento	455.556 kg/m3
Ag. Fino	623.591 kg/m3
Ag. Grueso	1036.704 kg/m3
Agua Efectiva	227.075 kg/m3

Ahora presentamos las proporciones en peso para un concreto f'c=280kg/cm2.

CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO
1.00	1.37	2.28

Sabiendo que:

1 Bolsa de cemento => Volumen= 1p3	
Peso	42.5 kg
1m3	35.31 p3

Se tiene:

Cuadro 64. Volúmenes de materiales corregidos para 1m3 de concreto - f'c=280kg/cm2

MATERIALES CORREGIDOS	
Cemento	10.719 pie3
Ag. Fino	15.841 pie3
Ag. Grueso	24.734 pie3
Agua Efectiva	21.184 lt/bol

Así obtenemos las proporciones en VOLUMEN para un concreto 280 kg/cm2.

CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO
1.00	1.48	2.31

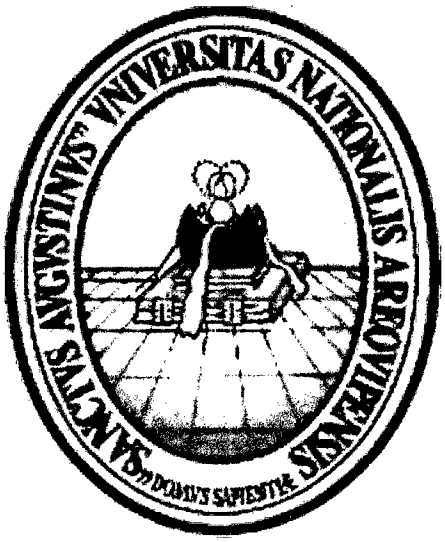
4.3.1.4. CUADRO RESUMEN DE PROPORCIONES DEL CONCRETO

Cuadro 65. Componentes en peso para 1m3 de concreto seco.

COMPONENTES PARA 1m3 DE CONCRETO SECO			
MATERIAL	f'c= 210 kg/cm2	f'c= 280 kg/cm2	UND
Cemento	372.73	455.56	kg
Ag. Fino	690.12	632.06	kg
Ag. Grueso	1041.60	1041.60	kg
Agua Efectiva	205.00	205.00	kg

Cuadro 66. Componentes en peso para 1m3 de concreto corregido por humedad.

COMPONENTES PARA 1m3 DE CONCRETO CORREGIDO POR HUMEDAD			
MATERIAL	f'c= 210 kg/cm2	f'c= 280 kg/cm2	UND
Cemento	372.73	455.56	kg
Ag. Fino	690.12	623.59	kg
Ag. Grueso	1036.70	1036.70	kg
Agua Efectiva	219.27	227.08	kg



CAPITULO V

ENSAYOS A EFECTUAR EN EL CONCRETO

CAPÍTULO V

ENSAYOS A EFECTUAR EN EL CONCRETO

5.1. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

5.1.1. ELABORACIÓN DE CONCRETO

5.1.1.1. NORMA

NTP 339.036

ASTM C172M

5.1.1.2. MARCO TEÓRICO

Es importante realizar el procedimiento adecuado para la elaboración de cilindros de concreto, para que este cumpla con las propiedades requeridas y así haya mayor confianza en la toma de datos. Las condiciones ambientales de elaboración del concreto se asemejaron lo mayor posible a condiciones en obra.

5.1.1.3. EQUIPO

- ✓ Mezcladora.
- ✓ Pala, cucharon.
- ✓ Baldes.

5.1.1.4. PROCEDIMIENTO

- ✓ Antes de la preparación del concreto, para poder realizar la corrección de humedades, es necesario sacar el contenido de humedad de los agregados.
- ✓ Previo al inicio del mezclado, previamente deberá de humedecerse todos los materiales inmersos en la preparación del concreto.
- ✓ Previo al inicio de rotación de la mezcladora, añadir el agregado grueso, con una parte del agua de mezcla, luego adicionar el agregado fino, el cemento y el agua con la mezcladora en funcionamiento, se debe dejar mezclando por lo menos 90 segundos.
- ✓ Una vez preparada la mezcla se procede colocar el concreto en los moldes de probetas y vigas para la elaboración de especímenes que serán usados en los ensayos de Resistencia a la Compresión y Flexión.

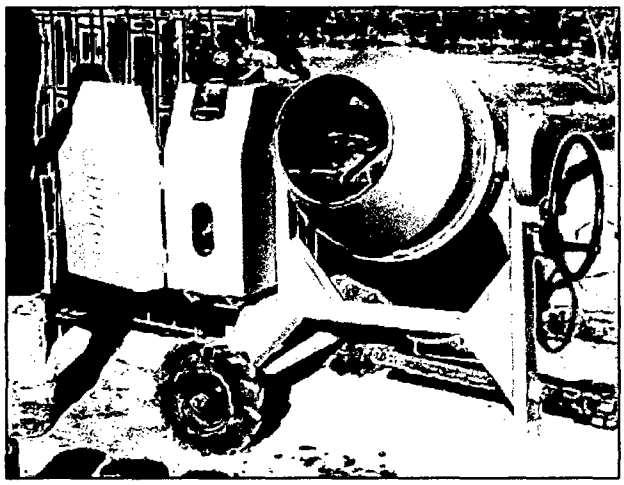


Figura 56. Mezcladora Eléctrica de Concreto.

Figura 57. Colocación de materiales en la mezcladora.

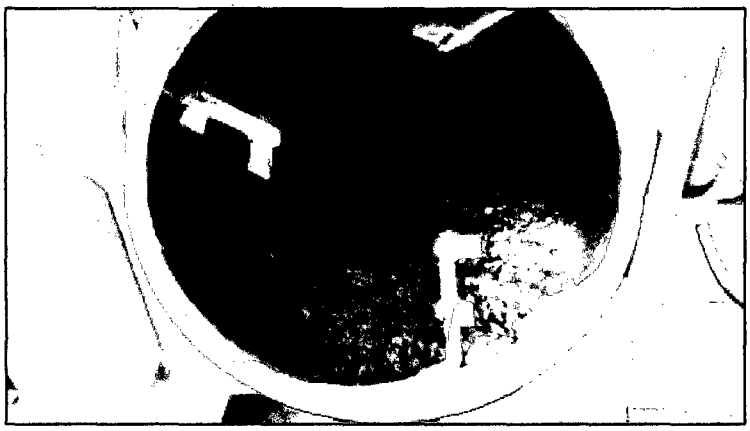


Figura 58. Mezclado del concreto.

5.1.2. ELABORACIÓN DE PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO

5.1.2.1. NORMA

NTP339.183

ASTM C-192

5.1.2.2. MARCO TEÓRICO

Para obtener una muestra representativa, las probetas de concreto deben ser moldeadas siguiendo procedimientos determinados. El rango de temperatura del concreto es no menor a 10°C ni mayor a 32°C según el RNE E060.

5.1.2.3. EQUIPO

- ✓ Moldes cilíndricos, deben ser hechos de material impermeable, no absorbente y no reactivo con el cemento. El diámetro puede variar de 15 a 15.5 cm y la altura entre 29.9 a 31.1 cm.
- ✓ Barra compactadora, varilla metálica lisa con punta redondeada de diámetro igual a 16mm (5/8") y longitud de 60cm.
- ✓ Martillo de goma.
- ✓ Pala, cucharon, plancha metálica, petróleo.

5.1.2.4. PROCEDIMIENTO

- ✓ Colocar los moldes en una superficie plana, rígida y horizontal.
- ✓ Los moldes deben de estar limpios y su superficie interior deberá aceitarse con el petróleo.
- ✓ Las herramientas que se usaran para la manipulación del concreto deberán de humedecerse.
- ✓ Colocar el concreto en los moldes, se llena la primera capa con concreto aproximadamente la tercera parte del molde, se chucea 25 veces en forma helicoidal, luego con el martillo de goma se golpea 12 veces alrededor del molde, luego de esto se procede a llenar la segunda y tercera capa realizando lo mismo que para la primera capa.
- ✓ Después de un momento se procede al enrace de las probetas, que se hace con una regla metálica o la plancha metálica.
- ✓ Las probetas permanecerán durante las primeras 24horas en un ambiente húmedo para evitar la pérdida de humedad, pasado este tiempo se puede desmoldar.
- ✓ Se procede a colocar los especímenes de concreto en una poza de curado, el cual está llena de agua potable y limpia, esta agua debe cubrir por totalidad a las probetas.

Figura 59. Llenado de moldes de probetas.

Figura 60. Varillado de probetas.

Figura 61. Vibrado de probetas con combo de goma.

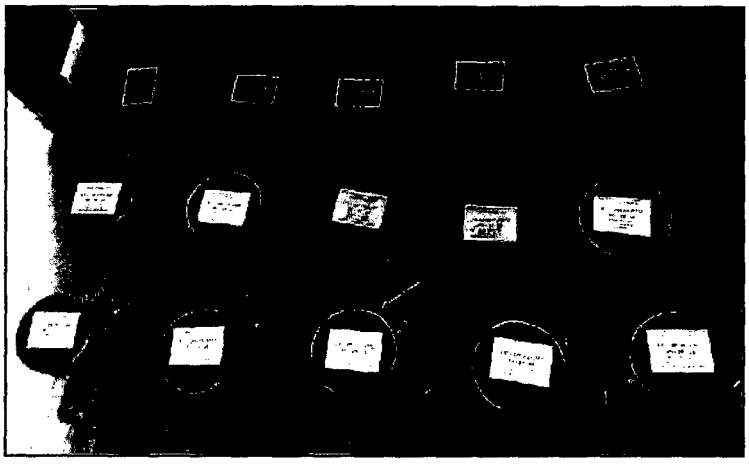


Figura 62. Probetas enrasadas y rotuladas.

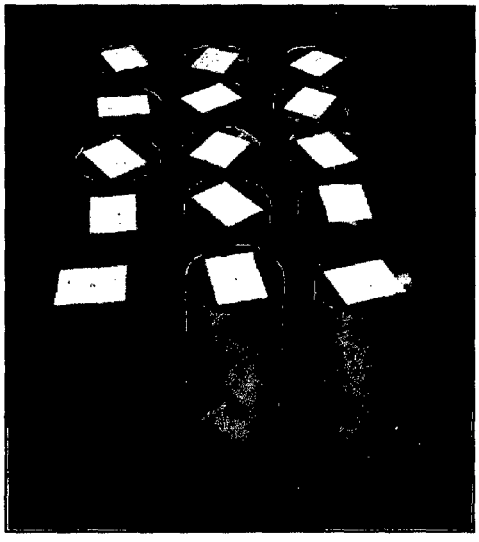


Figura 63. Probetas de concreto desmoldadas.

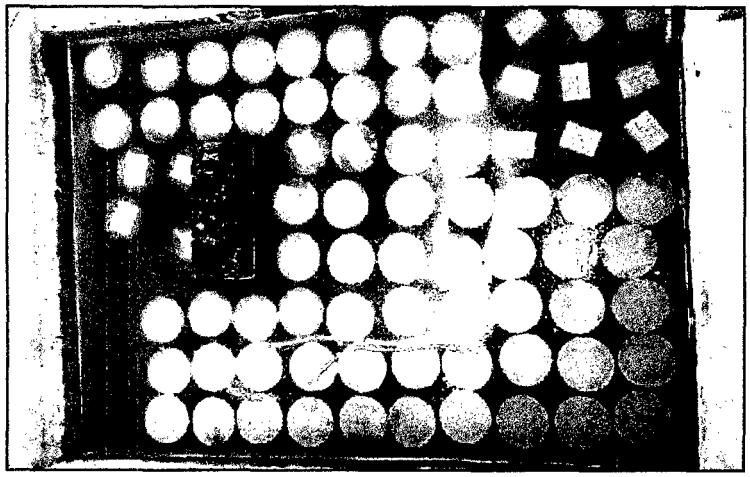


Figura 64. Probetas en proceso de curado.

5.1.3. ELABORACIÓN DE VIGUETAS DE CONCRETO

5.1.3.1. NORMA

ASTM C78

5.1.3.2. MARCO TEÓRICO

Para obtener una muestra representativa, las viguetas de concreto deben ser moldeadas siguiendo procedimientos determinados. El rango de temperatura del concreto es no menor a 10°C ni mayor a 32°C según el RNE E060.

5.1.3.3. EQUIPO

- ✓ Moldes rectangulares, deben ser hechos de material impermeable, no absorbente y no reactivo con el cemento. Las dimensiones pueden ser 150 x 150 x 600 mm.
- ✓ Barra compactadora, varilla metálica lisa con punta redondeada de diámetro igual a 16mm (5/8") y longitud de 60cm.
- ✓ Martillo de goma.
- ✓ Pala, cucharon, plancha metálica, petróleo.

5.1.3.4. PROCEDIMIENTO

- ✓ Colocar los moldes en una superficie plana, rígida y horizontal.

- ✓ Los moldes deben de estar limpios y su superficie interior deberá aceitarse con el petróleo.
- ✓ Las herramientas que se usaran para la manipulación del concreto deberán de humedecerse.
- ✓ Se coloca el concreto en el molde con el número de capas requeridas (Cuadro 67), aproximadamente del mismo volumen. Se apisona cada capa con la parte redonda de la varilla, utilizando el número de golpes y el tamaño de la varilla especificado en la (Cuadro 68). La capa inicial se apisona introduciendo la varilla hasta el fondo del molde. La distribución de golpes para cada capa debe ser uniforme sobre toda la sección transversal del molde.
- ✓ Para cada capa superior a la inicial, la varilla debe atravesar aproximadamente en 25 mm (1") la capa inferior. Luego de apisonar cada capa se deben golpear ligeramente los lados del molde para cerrar los huecos dejados por la varilla, dando de 10 a 15 golpes con el martillo de caucho.
- ✓ Siguiendo las tablas tenemos que colocamos el concreto en dos capas, cada capa es apisonada 64 veces con una varilla de 5/8.

Cuadro 67. Numero de capas requerida por especímenes

Tipo y tamaño del espécimen	Método de consolidación	Número de capas de aproximadamente igual espesor
Cilindros: Diámetro, mm (pul)		
75 a 100 (3 a 4)	apisonado	2
150 (6)	apisonado	3
225 (9)	apisonado	4
hasta 225 (9)	vibración	2
Prismas y cilindros para Creep horizontal espesor, mm (pul)		
hasta 200 (8)	apisonado	2
más de 200 (8)	apisonado	3 o más
hasta 200 (8)	vibración	1
más de 200 (8)	vibración	2 o más

Cuadro 68. Diámetro de la varilla y número de golpes por capa.

CILINDROS		
Diámetro del cilindro en mm (pulgadas)	**Diámetro de varilla en mm (pulgadas)**	**Número de golpes por capa**
50 (2) a <150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	16 (5/8)	75
VIGAS Y PRISMAS		
Área de la superficie superior de la muestra en cm^2 (pulgada^2)	**Diámetro de varilla en mm (pulgada)**	**Número de golpes por capa**
160 (25) o menos	10 (3/8)	25
165 (26) a 310 (49)	10 (3/8)	1 por cada 7 cm^2 (1 $pulg^2$) de área
320 (50) ó más	16 (5/8)	1 por cada 14 cm^2 (2 pul^2) de área
CILINDROS DE CREEP HORIZONTAL		
Diámetro del cilindro en mm (pulgadas)	**Diámetro de varilla en mm (pulgadas)**	**Número de golpes por capa**
150 (6)	16 (5/8)	50 en total, 25 a lo largo de ambos lados del eje

- ✓ Siguiendo los cuadros 67 y 68, procedemos a Colocar el concreto en los moldes, se llena la primera capa con concreto aproximadamente la mitad del molde, se hace el varillado 64 veces de manera uniforme a la forma del molde, luego con el martillo de goma se golpea alrededor del molde, luego de esto se procede a llenar la segunda capa realizando lo mismo que para la primera capa.
- ✓ Después de un momento se procede al enrace de las viguetas, que se hace con una regla metálica o la plancha metálica.
- ✓ Las viguetas permanecerán durante las primeras 24horas en un ambiente húmedo para evitar la pérdida de humedad, pasado este tiempo se puede desmoldar.
- ✓ Se procede a colocar los especímenes de concreto en una poza de curado, el cual está llena de agua potable y limpia, esta agua debe cubrir por totalidad a las viguetas.

Figura 65. Llenado de moldes de vigas de concreto.

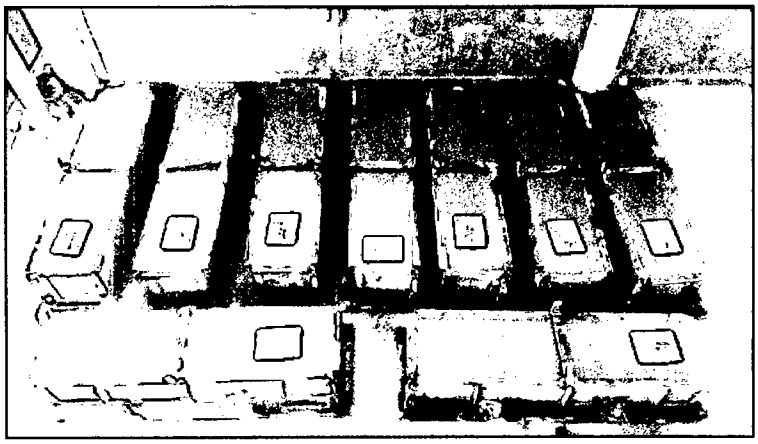


Figura 66. Viguetas enrasadas y rotuladas.

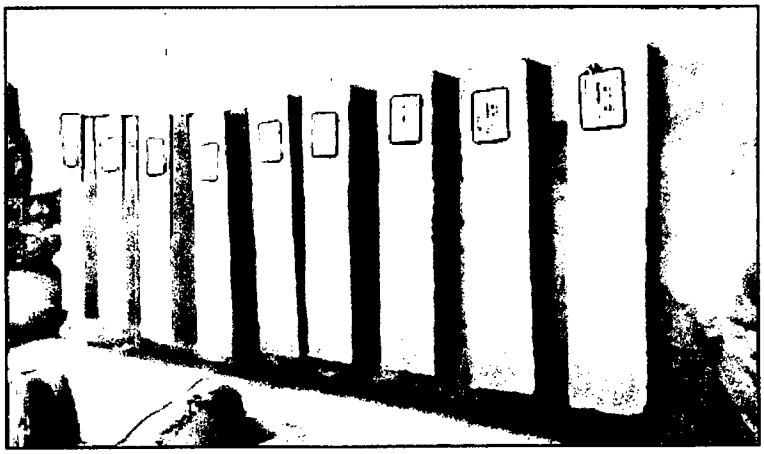


Figura 67. Viguetas desmoldadas y listas para el curado.

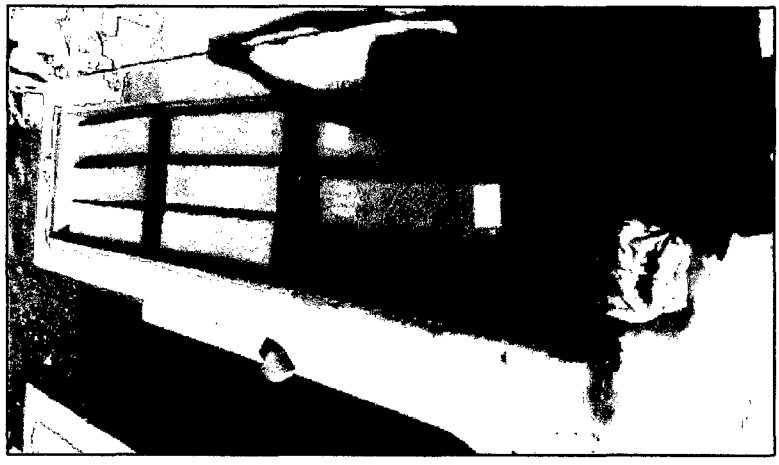


Figura 68. Curado de viguetas de concreto.

5.2. ENSAYOS EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO

5.2.1. TRABAJABILIDAD

5.2.1.1. NORMA

NTP339.036

ASTM C-172

5.2.1.2. MARCO TEÓRICO

Se define a la trabajabilidad como la facilidad con la cual una cantidad determinada de materiales puede ser mezclada para formar el concreto, para condiciones determinadas de obra, manipulado, transportado y colocado con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad.

El concreto deberá ser lo suficientemente trabajable para que de manera conjunta con los encofrados, cantidad y espaciamiento del refuerzo, procedimiento de colocación y técnicas de consolidación utilizados, pueda llenarse completamente todos los espacios alrededor del refuerzo y permitir que la masa de concreto fluya especialmente en las esquinas que son los lugares más críticos en ser llenados, y contra la superficie de los encofrados a fin de lograr una masa homogénea sin una inconveniente separación de los

ingredientes o presencia de aire atrapado, burbujas macroscópicas, o bolsas de agua en el concreto.

La trabajabilidad del concreto está determinada entre otros factores, por las características, granulometría, y proporción de los agregados fino y grueso, por cuanto dichos factores regulan la cantidad de agua necesaria para producir un concreto trabajable.
El comportamiento del concreto en la prueba indica su "consistencia" o sea su capacidad para adaptarse al encofrado o molde con facilidad, manteniéndose homogéneo con un mínimo de vacíos.
La consistencia se modifica fundamentalmente por variaciones del contenido de agua en la mezcla, siempre y cuando los materiales y las condiciones se mantengan constantes.

5.2.1.3. EQUIPO

- ✓ Varilla punta de bola lisa de 1.6 cm. de diámetro y 60 cm. de largo.
- ✓ Molde metálico, troncocónico, abierto por ambos extremos, con un diámetro superior de 10 cm. e inferior de 20 cm, además de pisaderas y asas. (Cono de Abrams)
- ✓ Placa de apoyo rígida no absorbente de 40 x 60 cm.
- ✓ Cucharón metálico.

5.2.1.4. PROCEDIMIENTO

- ✓ Se coloca el molde sobre una superficie de apoyo horizontal, ambos limpios y humedecidos con agua, (no humedecer con aceites ni grasa).
- ✓ El operador se apoya sobre las pisaderas del molde con los pies, evitando el movimiento de éste durante el llenado.
- ✓ Se llena el molde en tres capas de aproximadamente igual volumen y se apisona cada capa con 25 golpes de la varilla pisón distribuidos uniformemente. La capa inferior se llena hasta aproximadamente 7 cm de altura y la capa media hasta aproximadamente 16 cm. de altura. Al apisonar la capa inferior se darán los primeros golpes con la varilla pisón ligeramente inclinado alrededor del perímetro. Al apisonar la capa media y superior se darán los golpes de modo que la varilla pisón penetre 2.5 cm. la capa

subyacente. Durante el apisonado de la última capa se deberá mantener permanentemente un exceso de concreto sobre el borde superior del molde.

- ✓ Se enrasa la superficie de la capa superior con la varilla pisón y se limpia el concreto derramado en la zona adyacente al molde. Inmediatamente después de terminado el llenado, enrase y limpieza, se carga el molde con las manos, sujetándolo por las asas y dejando las pisaderas libres y se levanta en dirección vertical sin perturbar el concreto en un tiempo de 5 a 12 segundos.
- ✓ Toda la operación de llenado y levantamiento del molde no debe demorar más de tres minutos.

Para medir el Asentamiento de la mezcla se toma la medida de la altura del concreto moldeado respecto al molde, se tomara la medición en el eje central del molde formado por la mezcla en su posición original. (El error de la Wincha es de mm.).

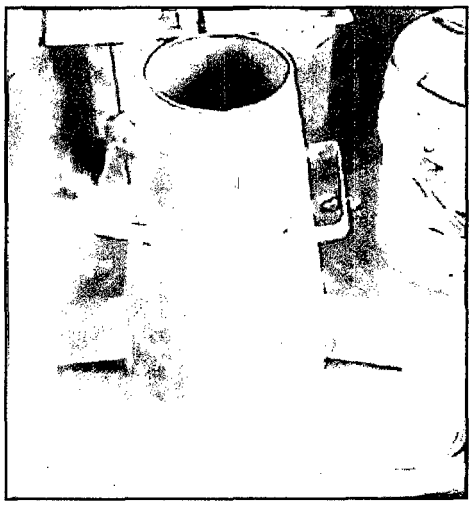


Figura 69. Cono de Abrams.

Figura 70. Medida del asentamiento con el cono de Abrams.

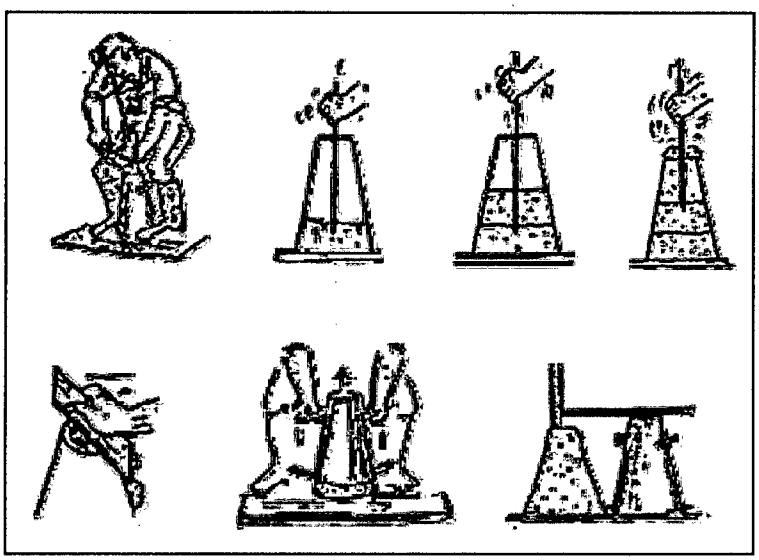


Figura 71. Ensayo de Trabajabilidad con el cono de Abrams.

Figura 72. Medida del asentamiento del concreto.

5.2.2. PESO UNITARIO FRESCO

5.2.2.1. NORMA

NTP 339.035

ASTM C-138

5.2.2.2. MARCO TEÓRICO

La prueba del peso unitario es una herramienta importante para controlar la calidad del concreto recién mezclado.

El peso volumétrico del concreto común es variable de acuerdo con la densidad de los agregados y puede estimarse entre 2200 y 2500 kg/m3, como promedio, lo que lo coloca entre los materiales de construcción pesados en relación con la intensidad de las cargas que soporta, especialmente cuando trabaja a flexión.

La producción de concretos ligeros ha sido preocupación constante de los investigadores, quienes en un principio dirigieron su interés hacia los agregados de poco peso: tezontles y piedras pómez, los cuales presentan la dificultad de sus cualidades higroscópicas que hacen punto menos que imposible la correcta dosificación del agua de mezclado, de la que depende la resistencia del concreto.

En el laboratorio podemos definir al peso unitario como el peso varillado por unidad de volumen de una muestra representativa de concreto, que se expresa en kg/m3. Este ensayo sirve para verificar la uniformidad del concreto y comprobar el rendimiento de la mezcla, así como para poder clasificar el concreto en liviano, normal o pesado.
El peso unitario del concreto depende de la gravedad específica del agregado, de la cantidad de aire de la mezcla, de las proporciones de esta, y de las propiedades del agregado que determinan los requerimientos de agua.

Para este ensayo utilizamos el molde empleado para calcular el peso unitario del agregado fino; en este caso, cuando se hace el llenado del recipiente, se pesa, se obtiene el peso neto de concreto fresco y este se divide entre el volumen del recipiente, obteniendo así el peso volumétrico del concreto fresco:

Formula:

$$\mathbf{P.U.C. = (P_t - P_m) / V_m}$$

Donde:

P.U.C : Peso unitario del concreto fresco	[kg/cm3]
P_t : Peso total	[kg]
P_m : Peso del molde	[kg]
V_m : Volumen del molde	[cm^3]

5.3. DETERMINACIÓN DE LA TRABAJABILIDAD PARA LA REUTILIZACIÓN DEL CONCRETO

Para la reutilización del concreto uno de los factores de mayor importancia en su estado fresco es la trabajabilidad o slump, debido a que está condicionada a la facilidad con la cual puede ser manipulada, transportada y colocada. Es por ello que en la presente investigación será la principal variable de control para el vaciado del concreto.

En base a la trabajabilidad que el concreto presente, medido con el cono de Abrams, se determinara la cantidad de agua necesaria a añadir al concreto en proceso de fraguado, por lo cual será necesario conocer el slump inicial del concreto antes de iniciar su fraguado inicial y posterior reutilización.

El objetivo principal es otorgarle al concreto una condición lo más cercana posible a su trabajabilidad inicial. En la presente investigación se tendrán concretos a ser reutilizados con un tiempo de fraguado inicial de: 1, 2, 3 y 4 horas, para cada uno de estos casos se tendrá que añadir la cantidad de agua necesaria a fin de regresar al slump inicial medido, por lo cual se tendrá una relación agua/cemento mayor a la inicial, de este modo a mayor tiempo de fraguado inicial mayor agua añadida y mayor relación agua/cemento tendrá el concreto reutilizado. Experimentalmente pasadas las 4 horas de fraguado inicial el concreto adquiere una consistencia "no trabajable" lo cual limita a realizar el análisis solo hasta 4 horas posteriores al mezclado.

En el proceso de añadir agua a la mezcla en proceso de fraguado se tomaran muchas medidas de agua añadida y slump final puesto que para llegar al valor requerido se tiene

que tener sumo cuidado o de lo contrario el slump será excedido y la condición de regresar a la trabajabilidad inicial será errada.

La razón por la cual requerimos regresar al slump inicial se debe a que este representa la trabajabilidad del diseño de mezclas, el que responde a una relación agua/cemento de diseño. Todas las muestras de concreto reutilizado serán vaciadas con el mismo diseño de mezcla inicial, lo cual no garantiza que todos tengan el mismo slump al momento de su vaciado debido a factores externos como el clima y condiciones medioambientales, pero si presentaran valores similares, los que serán tomados como medidas de trabajabilidad inicial a los que luego se pretenderán llegar.

Figura 73. Diferencia de slumps en diferentes tiempos de fraguado.

5.4. ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO

5.4.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

5.4.1.1. NORMAS

NTP 339.034

ASTM C39

5.4.1.2. MARCO TEÓRICO

La resistencia mecánica del concreto frecuentemente se identifica con su resistencia a la compresión, porque esta representa la condición de carga en el que el concreto exhibe

mayor capacidad para soportar esfuerzos, de modo que la mayoría de los casos los elementos estructurales se diseñan considerando esta propiedad importante del concreto.

5.4.1.3. EQUIPO

- ✓ Máquina de compresión.
- ✓ Almohadillas de neopreno.
- ✓ Vernier

5.4.1.4. PROCEDIMIENTO

- ✓ Retirar los especímenes a ser ensayados del poso de curado y ponerlos a secar a condiciones ambientales.
- ✓ Con ayuda del vernier tomar medidas del diámetro de las probetas, se tomaran 3 medidas para ser promediadas las que posteriormente serán utilizadas para calcular el área de la sección.
- ✓ Colocar las almohadillas de neopreno a la probeta.
- ✓ Colocar la muestra en la máquina de compresión de forma centrada hasta completar la rotura, el régimen de carga se debe mantener en un rango de 0.15 a 0.35Mpa/s.

Figura 74. Secado de las probetas de concreto.

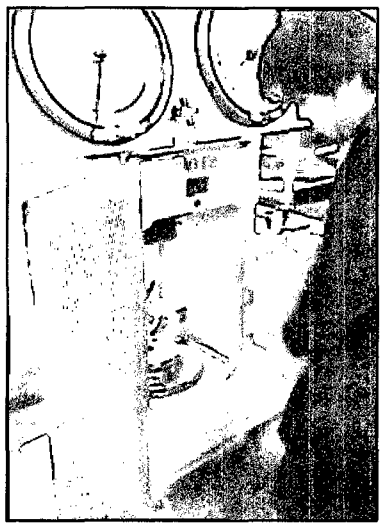


Figura 75. Colocación de probetas en la prensa.

Figura 76. Aplicación de la carga a la probeta.

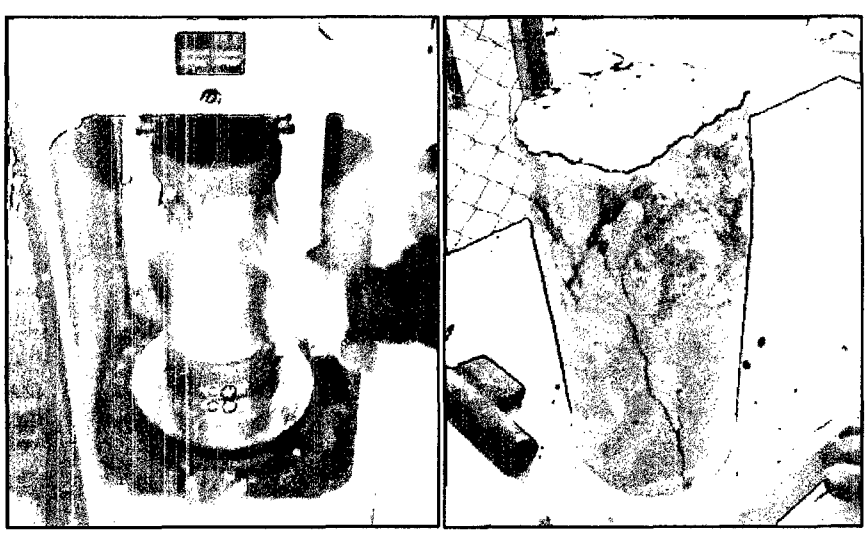


Figura 77. Falla de la probeta de concreto.

5.4.1.5. CÁLCULOS

Calculo de la resistencia a la Compresión

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Donde:

- f'c: Resistencia a la Compresión del Concreto (kg/cm2).
- P: Máxima Carga Aplicada (kg).
- A: Área de la Sección (cm2).

5.4.2. RESISTENCIA A LA TENSIÓN POR FLEXIÓN

5.4.2.1. NORMAS

ASTM C78

5.4.2.2. MARCO TEÓRICO

La resistencia del concreto a tensión es una propiedad que requiere consideración específica en el diseño de las estructuras que tienen mayor influencia tal como es el caso de las presas en arco, o de pavimentos de concreto hidráulico cuyo diseño se efectúa con base en la resistencia del concreto a tensión por flexión.

Al diseñar las estructuras se procura que el concreto no trabaje a tracción directa, sin embargo casi siempre es inevitable que el concreto en la estructura deba soportar ciertos esfuerzos a tracción, ya sea como consecuencia de determinadas condiciones de carga que involucran flexión y cortante, o como resultado de las contracciones que se producen en el concreto por secado o por temperatura.

La resistencia a tracción depende de las resistencias a tracción propias de la pasta del cemento y los agregados, y de la adherencia que se genera entre ambos. Con respecto a la pasta de cemento endurecida, influyen en estos factores básicos como su grado de porosidad y la presencia de micro fisuras y otras discontinuidades originales, tal como sucede a compresión. Sin embargo, la influencia de las microfisuras y otras

discontinuidades sobre la resistencia de la pasta endurecida es más importante a tracción que a compresión, si bien la influencia relativa de estos factores puede variar en función de los procedimientos que se utilizan para determinar la resistencia del concreto a tensión, que son básicamente tres.

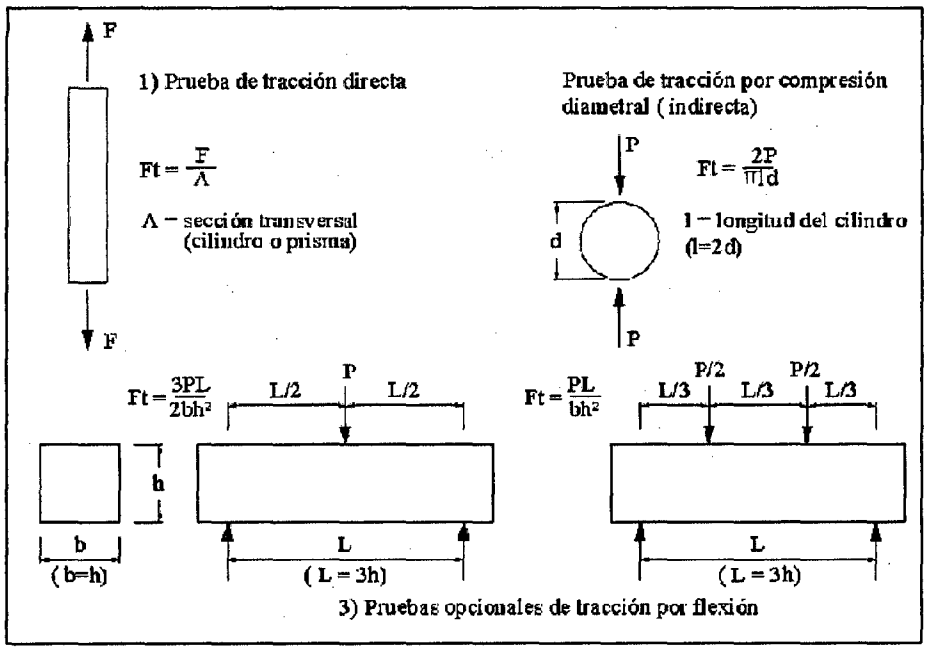


Figura 78. Representación de procedimientos para determinar la resistencia a la tracción del concreto.

5.4.2.2.1. PRUEBA DE TENSION DIRECTA

Este procedimiento es el que menos se utiliza por la dificultad que representa la aplicación de una fuerza de tracción que sea perfectamente colineal con el eje del espécimen de concreto, pues cualquier excentricidad introduce esfuerzos secundarios significativos que hacen fallar prematuramente al espécimen.

Tal vez por esta dificultad y la consecuente irregularidad en los resultados de este ensayo no se ha establecido un método estándar de prueba para su ejecución en las norma de uso local (NTP/ASTM), sin embargo en la norma francesa NF P 18-409 se reglamenta su aplicación mediante el ensayo a tracción de especímenes cilíndricos acondicionados en sus extremos con grapas provistas de rotulas que permiten lograr la colinealidad requerida durante la aplicación de las fuerzas de tracción.

5.4.2.2.2. PRUEBA DE TENSION INDIRECTA

Consiste en ensayar un espécimen cilíndrico en posición horizontal sometiéndolo a la acción de dos fuerzas opuestas de compresión uniformemente distribuidas a lo largo de las generatrices contenidas en su plano vertical de simetría. De manera que al quedar sometido el cilindro a esta condición de carga de compresión diametral se produce en dicho plano la distribución de esfuerzos.

5.4.2.2.3. PRUEBA DE TENSION POR FLEXIÓN

Tal como se indicó en el esquema 3 de la figura 80, existen dos pruebas opcionales para determinar la resistencia del concreto a tensión por flexión. En ambas pruebas se utiliza el mismo tipo de espécimen prismático, que se ensaya a flexión como viga simplemente apoyada, pero con la diferencia del modo como se aplica la carga: en un caso la flexión se produce como una carga concentrada en el centro del claro y en el otro con dos cargas concentradas iguales, aplicada en los tercios del claro.

Ambos modos de ensayo se encuentran normalizados conforme a los métodos de pruebas ASTM C293 y ASTM C78 respectivamente, sin embargo en la práctica se prefiere el segundo, porque en esta condición de carga todo el tercio central del espécimen queda sometido al momento máximo de flexión y al correspondiente esfuerzo máximo de tensión, creando un estado constante de esfuerzo que da oportunidad para que la falla ocurra dentro de este tramo central, según se aprecia en la figura 80.

La resistencia a tensión del concreto determinada por flexión, suele manifestar valores más elevados que los obtenidos por tensión directa e indirecta, debido a los factores ya mencionados que influyen en la prueba indirecta, esto es, la distribución no uniforme de esfuerzo en la sección de falla que restringe la propagación de las grietas y las simplificaciones teóricas que se hacen para el cálculo del esfuerzo máximo, a los cuales se suma en este caso cierto efecto de trabazón entre la pastas de cemento y el agregado grueso, particularmente cuando este se halla constituido por fragmentos producto de la trituración de una roca de buena calidad. Por todo ello, frecuentemente se dice que en toda forma de ensayo se sobreestima la resistencia a la tensión del concreto, no obstante por considerarla representativa de las condiciones operativas del concreto en las estructuras

que trabajen a flexión (pavimentos rígidos) se le considera la forma apropiada para definir y verificar la resistencia de diseño de estas estructuras.

El ensayo a tensión por flexión consiste esencialmente en colocar la viga en posición horizontal, apoyada libremente en sus extremos y trasmitirle a todo el anche de la viga dos cargas iguales en los tercios del claro, tomando precauciones para que tato las reaccione en los apoyos como las cargas en los tercios actúen verticalmente y colocando en las líneas de contacto del concreto con el dispositivo de apoyo y de transmisión de carga.

La aplicación de la carga debe iniciarse sin choque y producirse cierta rapidez hasta llegar aproximadamente a la mitad de la carga máxima prevista, y después de continuarse a una velocidad constante que produzca un aumento en el esfuerzo máximo de tensión comprendido entre 8.8 y 12.3 Kg/cm2/min. Que para el caso de la viga estándar corresponde a una velocidad de carga comprendida entre 11 y 16 Kg./s, aproximadamente.

Este proceso de carga debe prolongarse hasta que se produzca la falla de la viga, a fin de registrar la carga máxima alcanzada como dato para calcular el esfuerzo máximo de tensión producido por flexión en el plano inferior de la viga, cuyo esfuerzo máximo se le denomina módulo de ruptura por flexión del concreto.

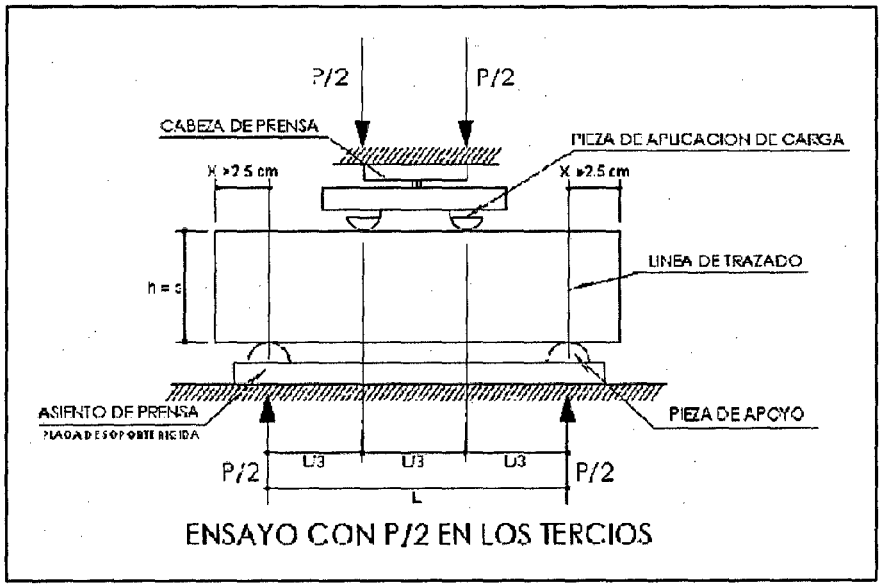


Figura 79. Esquema de Ensayo a Flexión.

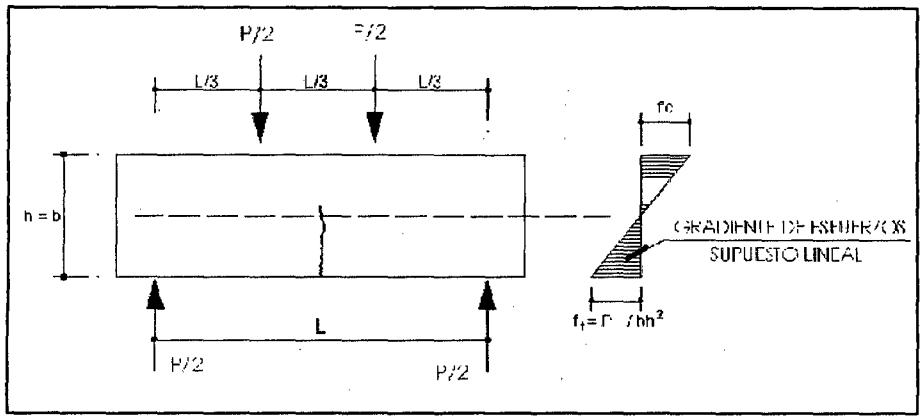


Figura 80. Distribución de esfuerzos en la sección de falla de especímenes de concreto a tensión.

- ***Comportamiento de los materiales sometidos a flexión***

Si las fuerzas actúan sobre un prisma de concreto de tal manera que tiendan a inducir esfuerzos compresivos sobre una parte de una sección transversal de la pieza y los esfuerzos tensivos sobre la parte restante, se dice que el prisma esta en flexión. Ver Figura 82. la ilustración común de la acción flexionante es una viga afectada por cargas transversales; la flexión puede también causarse por momentos o pares tales como, por ejemplo, los que pueden resultar de cargas excéntricas paralelas al eje longitudinal de una pieza. Ver Figura 81.

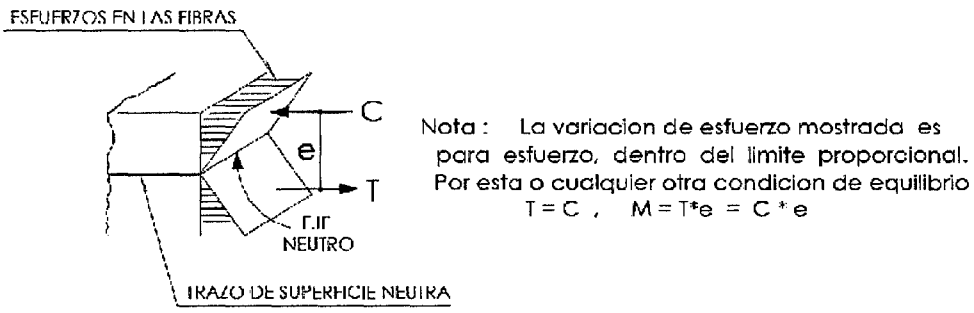


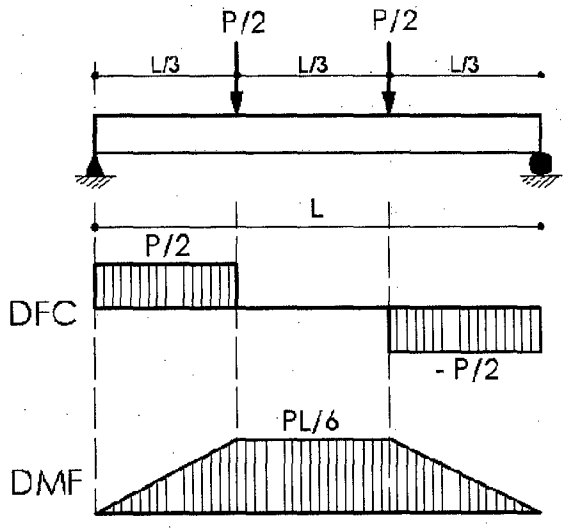
Figura 81. Diagrama de flexión en una viga.

El efecto flexionante en cualquier sección se expresa como "Momento flexionante" el cual es la suma de los momentos de todas las fuerzas que actúan hacia la izquierda de la sección. Los esfuerzos inducidos por un momento flexionante pueden denominarse esfuerzos flexionantes.

Para que exista equilibrio, la resultante de las fuerzas de tensión debe siempre ser igual a la resultante de las fuerzas comprensivas, las resultantes de los esfuerzos flexionantes en cualquier sección forman un par que es igual en magnitud al momento flexionante, cuando no actúan ningunos otros esfuerzos que los flexionantes se dice que existe una condición de flexión pura.

La flexión pura se desarrolla bajo ciertas condiciones de carga, el caso usual, la flexión va acompañada por el corte transversal. La resultante de los esfuerzos cortantes a través de una sección transversal es igual al corte transversal total V, el cual se calcula con la suma algebraica de todas las fuerzas transversales hacia la izquierda (o la derecha), de una sección. La acción flexionante de las vigas es frecuentemente denominada "flexión". El termino flexión se refiere a ensayos flexionantes de vigas sometidas a cargas transversales.

En una sección transversal de la viga, la línea a lo largo de la cual los esfuerzos flexionantes son cero es llamada el eje neutro.
La superficie que contiene los ejes neutros de las secciones consecutivas es la superficie neutra. Sobre el lado de la viga en compresión las "fibras" de la viga se acortan, y sobre el lado en tensión se estiran, así la viga se flexiona o "pandea" en una dirección normal a la superficie neutra, tornándose cóncava del lado en compresión.



VIGA SIMPLE CON CARGA SIMETRICA EN DOS PUNTOS

Figura 82. Diagramas de corte y de momento.

Ha quedado bien establecido por muchas observaciones que en la flexión pura las deformaciones son proporcionales a la distancia desde el eje neutro; y esto parece confirmarse cuando menos con una buena aproximación tanto en el rango de acción inelástico como en el de acción elástica. Esta es llamada una condición de "flexión plana", el alargamiento o acortamiento de las fibras en cualquier tramo de viga dado sobre el cual el momento es constante dividido por ese tramo de la deformación unitaria en la fibras. Si los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones, la variación del esfuerzo a través de una sección es lineal. Ver Figura 80, sumando los momentos de los esfuerzos alrededor del eje neutro, el momento de resistencia, dentro del límite proporcional, puede encontrarse en términos del esfuerzo sobre la fibra extrema.

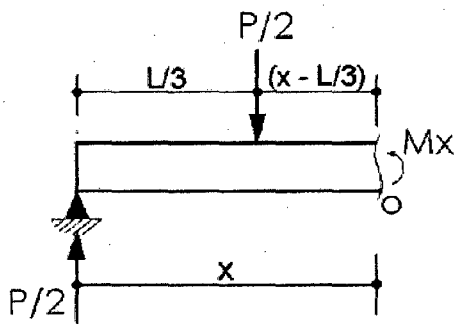


Figura 83. Sumatoria de momentos con respecto al punto O.

De la figura 83, tomamos sumatoria de momentos en "o".

- **ΣMo = 0**

  P/2 . X = Mx + P/2 . (X – L/3)

  Mx = P/2 . (X - X + L/3)

  Mx = P/2 . L/3 = PL/6

  MU = PL/6 .... *Momento Último del tercio central.*

- ***Formula de Flexión***

$$M = I \cdot \sigma / C$$

Donde:

M : Momento de flexión [Ton.m]

I : Momento de Inercia con respecto al eje neutro [m4]

σ : Esfuerzo sobre la fibra extrema [Ton/m2]

C : Distancia del eje neutro de la fibra extrema [m]

- ***Inercia de la Sección de la Viga con respecto al eje neutro***
-

$$\mathbf{I = b.\ h3/12}$$

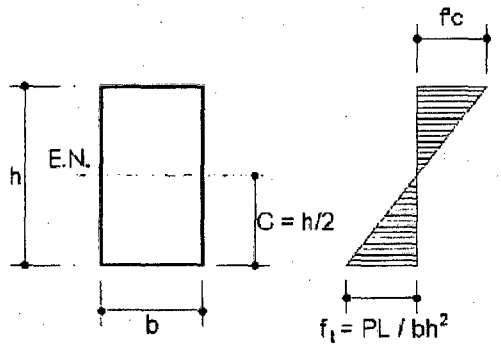


Figura 84. Esquema de esfuerzo de flexión en una viga.

- **MU = PL /6**

$I \cdot \sigma t / C = P \cdot L / 6$

$(b \cdot h3 / 12) \cdot \sigma t / C = P \cdot L / 6$

$\sigma t = (P.C.L / 6) / (b \cdot h^3 / 12)$

$\sigma t = (P.h.L / 12) / (b \cdot h^3 / 12)$

$\sigma t = P.L / b \cdot h^2$

$\sigma t = P.L / b \cdot h^2 = Ft$ .... *Esfuerzo a la tensión del concreto.*

- ***Esfuerzo de Tensión Teórico del concreto***

$$\mathbf{Ft = 2\ V\ f'c}$$

Donde:

Ft : Modulo teórico de tensión [kg/cm2]

F'c : Esfuerzo de compresión del concreto [kg/cm2]

En condiciones normales de ensayo, la falla de la viga debe ocurrir dentro del tercio central y el módulo de ruptura (Ft) se determina en Kg./cm2 .

Formula:

$$\mathbf{Ft = P\ L\ /\ (bh^2)}$$

Donde:

Ft : Modulo de ruptura. [kg/cm2]

P : Carga máxima aplicadas [kg]

L : Longitud libre entre apoyos [cm]

b : Ancho del prisma [cm]

h : Altura de prisma [cm]

Si la sección de falla ocurre fuera del tercio central (sin exceder más de 5% del claro) el método recomienda calcular el módulo de ruptura por la expresión:

Formula:

$$\mathbf{Ft = 3\ P\ a\ /\ (bh^2)}$$

Donde:

a : Distancia media entre la línea de fractura y el apoyo mas próximo, medida sobre la superficie a tensión de la viga.

El informe del comité del ACI 363 menciona que de acuerdo con resultados experimentales obtenidos por diversos investigadores, el módulo de ruptura correspondiente a concretos que incluyen los de peso ligero y de peso normal, suele hallarse en el intervalo comprendido entre 1.99 $\sqrt{f'c}$ y 3.18 $\sqrt{f'c}$, expresado en Kg./cm2, cuya amplia variación es imputable a la gran variedad de agregados utilizados en esas

experiencias, para estimar el módulo de rotura del concreto con base en su resistencia a compresión, se recomienda utilizar el valor que se obtiene en Kg./cm2, mediante la expresión: 2 √f'c para concreto clase 1 y por la expresión 1.4 √f'c para el concreto clase 2. en la norma ACI363, en donde se observa la relevante influencia que tienen los agregados en la incertidumbre con que pueda estimarse la resistencia a tensión por flexión del concreto a partir de su resistencia de compresión, confirmando si la conveniencia de verificar experimentalmente la resistencia del concreto a tensión en los casos que se justifique, en vez e estimularla mediante relaciones de carácter general.

5.4.2.3. EQUIPO

- ✓ Máquina de flexión, se usara la misma máquina de compresión pero con el acople metálico diseñado para un sistema a flexión con una luz libre de 60cm entre apoyos y cargas aplicadas a una distancia de 20cm entre ellas.
- ✓ Wincha.

5.4.2.4. PROCEDIMIENTO

- ✓ Retirar los especímenes a ser ensayados del poso de curado y poner a secar a temperatura ambiente.
- ✓ Con ayuda de la wincha tomar las medidas de longitud, lados de la sección de la viga.
- ✓ Colocar la muestra en la máquina de flexión de forma centrada, de tal manera que entre apoyos se tenga una longitud de 60cm.
- ✓ Aplicar la carga y anotar el valor de la carga de rotura.

Figura 85. Secado de viguetas para el ensayo a flexión.

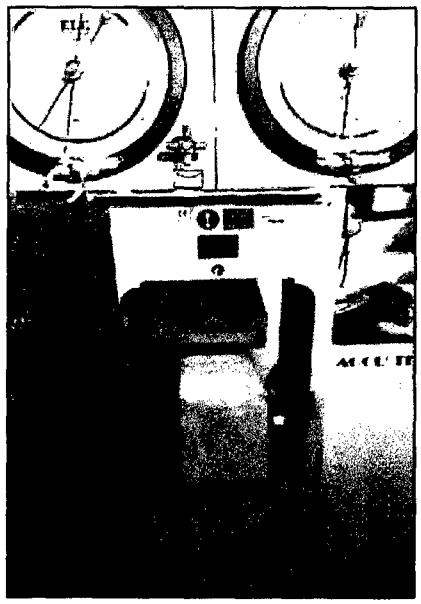
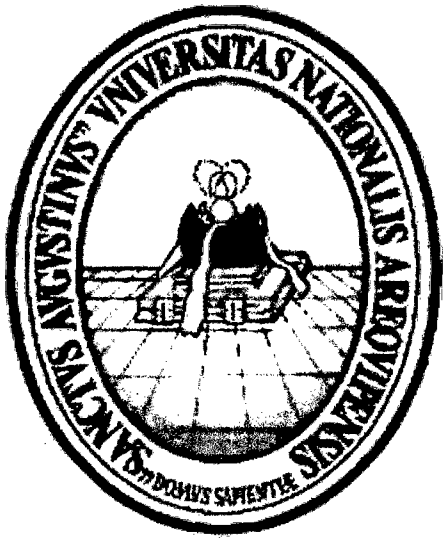


Figura 86. Sistema de rotura de viga a flexión.

Figura 87. Rotura de viga sometida a carga de flexión.

Figura 88. Vigas ensayadas a flexión.



CAPITULO VI

ANALISIS DE RESULTADOS

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

6.1.1. ENSAYO DE TRABAJABILIDAD

6.1.1.1. PROBETAS - F'c = 210 Kg/cm2

Cuadro 69. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=210kg/cm2 (Edad 7 dias)

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2					
7 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
Cemento (Kg)	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07
A/C inicial	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Slump inicial (pulg)	3.40	3.40	3.50	3.50	3.50
Slump final (pulg)	3.40	2.60	2.50	1.80	0.20
Agua añadida (Lt)	0.00	0.03	0.05	0.09	0.20
Slump corregido (pulg)	3.40	3.40	3.50	3.50	3.50
A/C final	0.59	0.60	0.61	0.63	0.68
f'c prom (kgf/cm2)	201.00	211.93	185.43	177.58	152.13

Cuadro 70. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=210kg/cm2 (Edad 14 días)

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2					
14 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
Cemento (Kg)	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07
A/C inicial	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Slump inicial (pulg)	3.40	3.60	3.50	3.50	3.50
Slump final (pulg)	3.40	2.90	2.60	1.70	0.15
Agua añadida (Lt)	0.00	0.03	0.05	0.09	0.20
Slump corregido (pulg)	3.40	3.60	3.40	3.50	3.50
A/C final	0.59	0.60	0.61	0.63	0.68
f'c prom (kgf/cm2)	252.41	256.52	218.70	213.32	177.50

Cuadro 71. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=210kg/cm2 (Edad 28 días)

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2					
28 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
Cemento (Kg)	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07
A/C inicial	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Slump inicial (pulg)	3.40	3.80	3.30	3.50	3.50
Slump final (pulg)	3.40	3.20	2.60	1.60	0.15
Agua añadida (Lt)	0.00	0.02	0.04	0.09	0.20
Slump corregido (pulg)	3.40	3.80	3.30	3.50	3.50
A/C final	0.59	0.60	0.61	0.63	0.69
f'c prom (kgf/cm2)	284.50	263.00	249.92	230.13	221.05

Como se mencionó anteriormente para los vaciados de concreto se toma en consideración el slump inicial al momento de realizarse el mezclado y pasado el tiempo correspondiente de tiempo de fraguado se toma un segundo valor el cual corresponde a un slump final, este fue corregido añadiendo agua al concreto hasta llegar a la condición inicial.

Los resultados nos muestran que a mayor tiempo de fraguado, mayor será el agua añadida, por lo que, tanto en las probetas para 7, 14 y 28 días el agua requerida fue similar; lo cual se refleja en las relaciones agua/cemento finales que varían en un rango de 0.59 (correspondiente al concreto patrón) hasta 0.69 (correspondiente al concreto con 4 horas de fraguado).

6.1.1.2. EN PROBETAS - F'c = 280 Kg/cm2

Cuadro 72. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=280kg/cm2 (Edad 7 días)

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2					
7 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	1.25	1.24	1.24	1.25	1.23
Cemento (Kg)	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
A/C inicial	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
Slump inicial (pulg)	3.50	3.80	3.25	3.25	3.50
Slump final (pulg)	3.50	2.60	2.30	1.25	0.20
Agua añadida (Lt)	0.00	0.02	0.05	0.10	0.17
Slump corregido (pulg)	3.50	3.80	3.25	3.25	3.50
A/C final	0.49	0.50	0.51	0.53	0.55
f'c prom (kgf/cm2)	252.81	260.98	233.72	178.85	172.15

Cuadro 73. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=280kg/cm2 (Edad 14 días)

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2					
14 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	1.25	1.25	1.25	1.26	1.25
Cemento (Kg)	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
A/C inicial	0.49	0.49	0.50	0.50	0.49
Slump inicial (pulg)	3.50	3.80	3.25	3.25	3.50
Slump final (pulg)	3.50	2.70	2.20	1.10	0.15
Agua añadida (Lt)	0.00	0.02	0.04	0.08	0.18
Slump corregido (pulg)	3.50	3.80	3.25	3.25	3.50
A/C final	0.49	0.50	0.51	0.53	0.56
f'c prom (kgf/cm2)	309.50	316.75	294.62	279.26	239.77

Cuadro 74. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=280kg/cm2 (Edad 28 días)

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2					
28 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	1.24	1.27	1.27	1.25	1.28
Cemento (Kg)	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
A/C inicial	0.49	0.50	0.50	0.49	0.50
Slump inicial (pulg)	3.50	3.80	3.25	3.25	3.50
Slump final (pulg)	3.50	2.80	2.20	1.00	0.20
Agua añadida (Lt)	0.00	0.02	0.04	0.08	0.18
Slump corregido (pulg)	3.50	3.80	3.25	3.25	3.50
A/C final	0.49	0.51	0.52	0.53	0.57
f'c prom (kgf/cm2)	359.62	356.93	334.73	303.18	279.95

Al igual que para el concreto de f'c=210kg/cm2 los resultados nos muestran que a mayor tiempo de fraguado, mayor será el agua añadida, por lo que tanto en las probetas para 7, 14 y 28 días el agua requerida fue similar; lo cual se refleja en las relaciones agua/cemento finales que varían en un rango de 0.49 (correspondiente al concreto patrón) hasta 0.57 (correspondiente al concreto con 4 horas de fraguado).

Por la variación de las relaciones agua/cemento y el tiempo de fraguado es que el concreto sufre alteraciones en su resistencia a la compresión, tema que será analizado más adelante en la investigación.

6.1.1.3. VIGAS - F'c = 210 Kg/cm2

Cuadro 75. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=210kg/cm2 (Edad 7 dias)

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2					
7 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Cemento (Kg)	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80
A/C inicial	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Slump inicial (pulg)	3.40	3.40	3.50	3.40	3.50
Slump final (pulg)	3.40	2.80	2.20	1.50	0.40
Agua añadida (Lt)	0.00	0.07	0.13	0.25	0.59
Slump corregido (pulg)	3.40	3.40	3.50	3.40	3.50
A/C final	0.59	0.60	0.61	0.63	0.68
f't prom (kgf/cm2)	34.78	37.16	34.38	30.60	28.58

Cuadro 76. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=210kg/cm2 (Edad 14 dias)

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2					
14 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Cemento (Kg)	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80
A/C inicial	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Slump inicial (pulg)	3.50	3.80	3.50	3.60	3.50
Slump final (pulg)	3.50	3.00	2.40	1.80	0.50
Agua añadida (Lt)	0.00	0.08	0.14	0.25	0.59
Slump corregido (pulg)	3.50	3.80	3.50	3.60	3.50
A/C final	0.59	0.60	0.61	0.63	0.68
f't prom (kgf/cm2)	39.42	42.61	37.03	33.55	30.86

Cuadro 77. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=210kg/cm2 (Edad 28 días)

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2					
28 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Cemento (Kg)	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80
A/C inicial	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Slump inicial (pulg)	3.50	3.50	3.60	3.60	3.60
Slump final (pulg)	3.50	2.80	2.20	1.70	0.50
Agua añadida (Lt)	0.00	0.08	0.15	0.26	0.59
Slump corregido (pulg)	3.50	3.50	3.60	3.60	3.60
A/C final	0.59	0.60	0.61	0.63	0.68
f't prom (kgf/cm2)	43.87	44.42	41.78	38.74	35.52

Sin cambios en la metodología para determinar la trabajabilidad, los resultados nos muestran que a mayor tiempo de fraguado, mayor será el agua añadida, por lo que tanto en las vigas para 7, 14 y 28 días el agua requerida fue similar; lo cual se refleja en las relaciones agua/cemento finales que varían en un rango de 0.59 (correspondiente al concreto patrón) hasta 0.65 (correspondiente al concreto con 4 horas de fraguado).

6.1.1.4. VIGAS - F'c = 280 Kg/cm2

Cuadro 78. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=280kg/cm2 (Edad 7 días)

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2					
7 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56
Cemento (Kg)	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20
A/C inicial	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
Slump inicial (pulg)	3.50	3.50	3.50	3.50	3.40
Slump final (pulg)	3.50	2.75	2.25	1.30	0.30
Agua añadida (Lt)	0.00	0.05	0.12	0.25	0.48
Slump corregido (pulg)	3.50	3.50	3.50	3.50	3.40
A/C final	0.49	0.50	0.51	0.53	0.56
f't prom (kgf/cm2)	37.03	39.56	35.03	32.58	31.47

Cuadro 79. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=280kg/cm2 (Edad 14 días)

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2					
14 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56
Cemento (Kg)	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20
A/C inicial	0.49	0.49	0.49	0.49	0.50
Slump inicial (pulg)	3.50	3.25	3.50	3.50	3.60
Slump final (pulg)	3.50	2.70	2.20	1.40	0.50
Agua añadida (Lt)	0.00	0.06	0.12	0.24	0.49
Slump corregido (pulg)	3.50	3.25	3.50	3.50	3.60
A/C final	0.49	0.50	0.51	0.53	0.56
f't prom (kgf/cm2)	42.71	43.39	37.80	36.49	34.68

Cuadro 80. Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=280kg/cm2 (Edad 28 días)

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2					
28 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56
Cemento (Kg)	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20
A/C inicial	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
Slump inicial (pulg)	0.40	3.25	3.80	3.60	3.60
Slump final (pulg)	3.40	2.80	2.30	1.10	0.50
Agua añadida (Lt)	0.00	0.06	0.14	0.26	0.49
Slump corregido (pulg)	3.40	3.25	3.80	3.60	3.60
A/C final	0.49	0.50	0.51	0.53	0.56
f't prom (kgf/cm2)	48.52	49.09	43.49	41.54	40.10

Al igual que para el concreto de f'c=210kg/cm2 los resultados nos muestran que a mayor tiempo de fraguado, mayor será el agua añadida, por lo que tanto en las vigas para 7, 14 y 28 días el agua requerida fue similar; lo cual se refleja en las relaciones agua/cemento finales que varían en un rango de 0.61 (correspondiente al concreto patrón) hasta 0.68 (correspondiente al concreto con 4 horas de fraguado).

Por la variación de las relaciones agua/cemento y el tiempo de fraguado es que el concreto sufre alteraciones en su resistencia a la flexión, tema que será analizado más adelante en la investigación.

6.1.2. ENSAYO DE PESO UNITARIO

Cuadro 81. Resultados del ensayo de Peso Unitario del concreto fresco.

PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO		
Datos	**f'c=210kg/cm3**	**f'c=280kg/cm3**
Peso del concreto + molde (gr)	11800.00	11850.00
Peso del molde (gr)	4300.00	4300.00
Volumen del molde (cm3)	3152.84	3152.84
P.U. (gr/cm3)	**2.38**	**2.39**

6.2. RESULTADOS DE ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

6.2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

6.2.1.1. PROBETAS - F'c = 210 Kg/cm2

Cuadro 82. Resumen del ensayo de resistencia a la compresión f'c=210kg/cm2

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION F'c=210 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	201.00	211.93	185.43	177.58	152.13
14	252.41	256.52	218.70	213.32	177.50
28	284.50	263.00	249.92	230.13	221.05

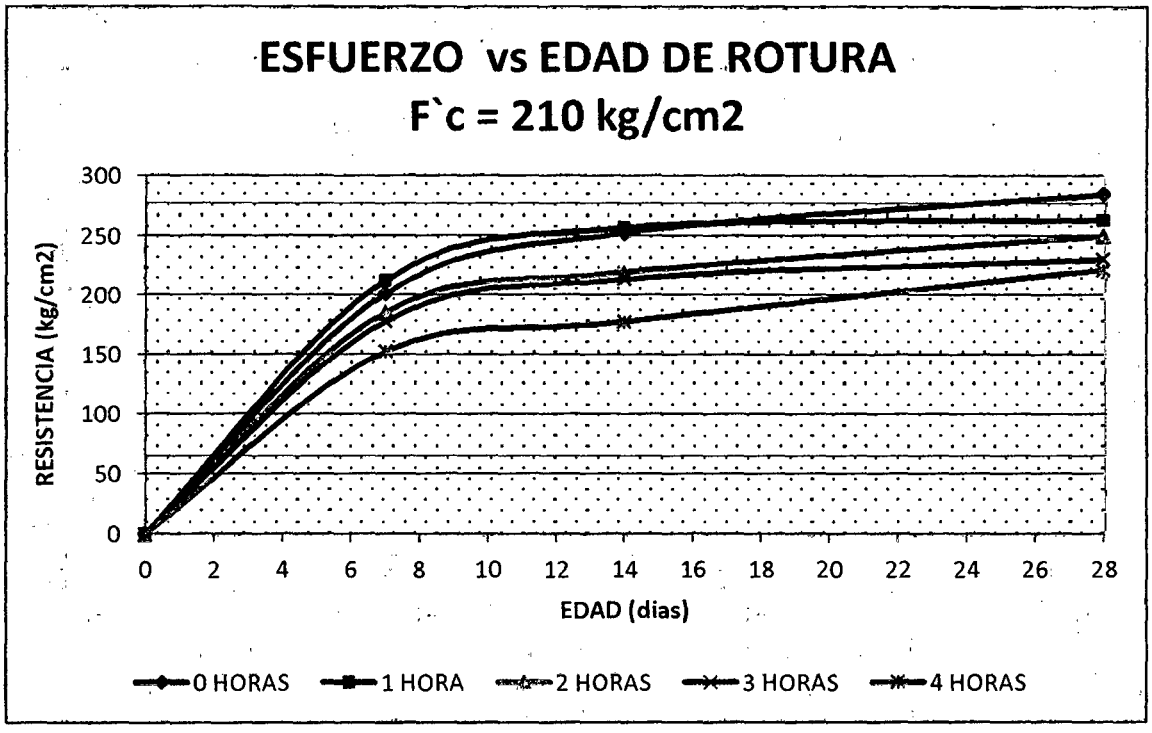


Figura 89. Curvas Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=210kg/cm2

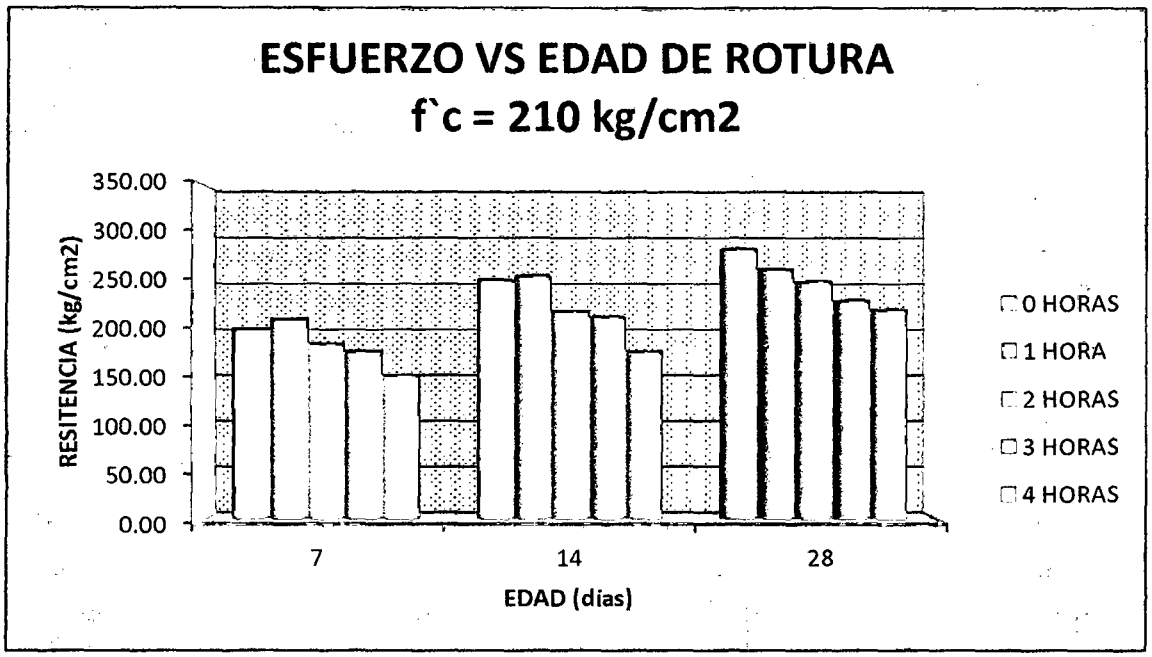


Figura 90. Barras Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=210kg/cm2

6.2.1.2. PROBETAS - F'c = 280 Kg/cm2

Cuadro 83. Resumen del ensayo de resistencia a la compresión f'c=280kg/cm2

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION F'c=280 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	252.81	260.98	233.72	178.85	172.15
14	309.50	316.75	294.62	279.26	239.77
28	359.62	356.93	334.73	303.18	279.95

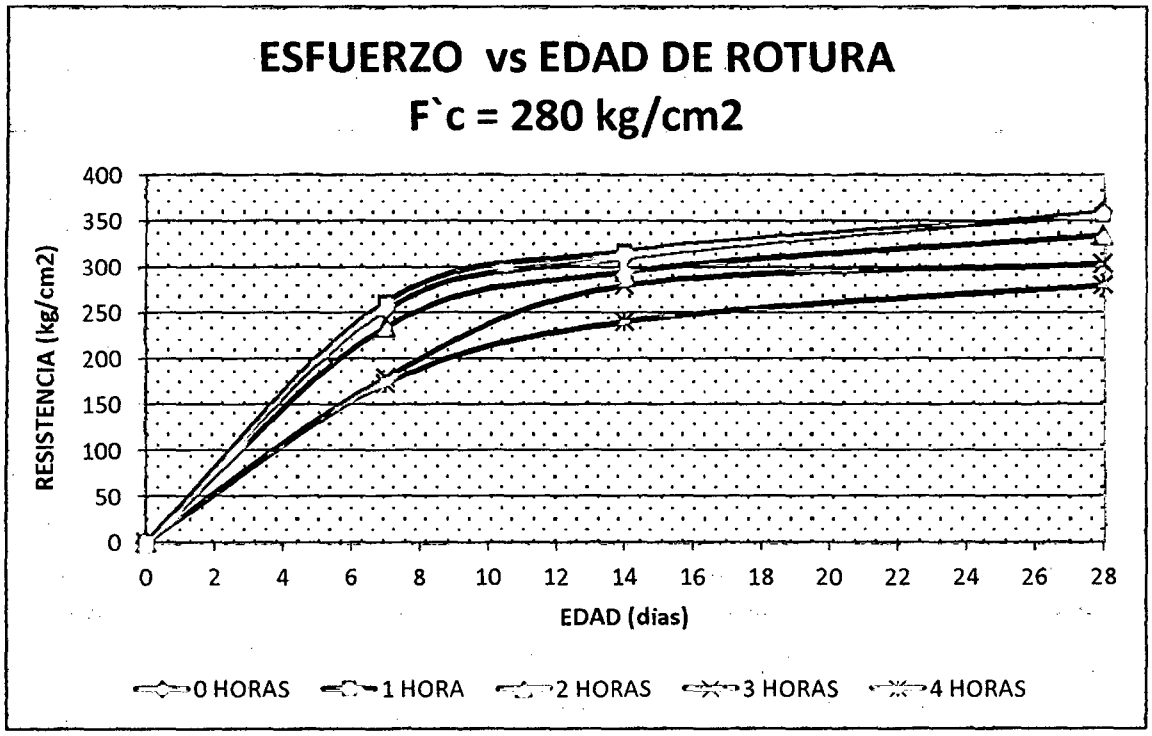


Figura 91. Curvas Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=280kg/cm2

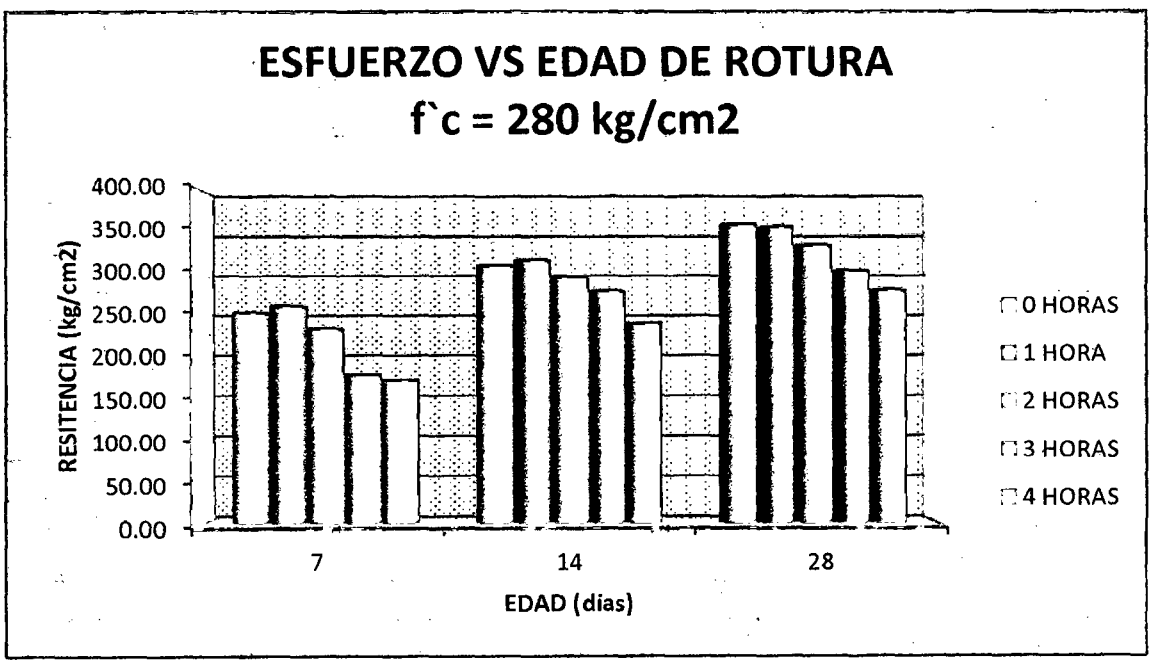


Figura 92. Barras Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=280kg/cm2

6.2.2. RESISTENCIA A LA TENSIÓN POR FLEXIÓN

6.2.2.1. VIGAS - F'c = 210 Kg/cm2

Cuadro 84. Resumen del ensayo de resistencia a la flexión f'c=210kg/cm2

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION F'c=210 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	34.78	37.16	34.38	30.60	28.58
14	39.42	42.61	37.03	33.55	30.86
28	43.87	44.42	41.78	38.74	35.52

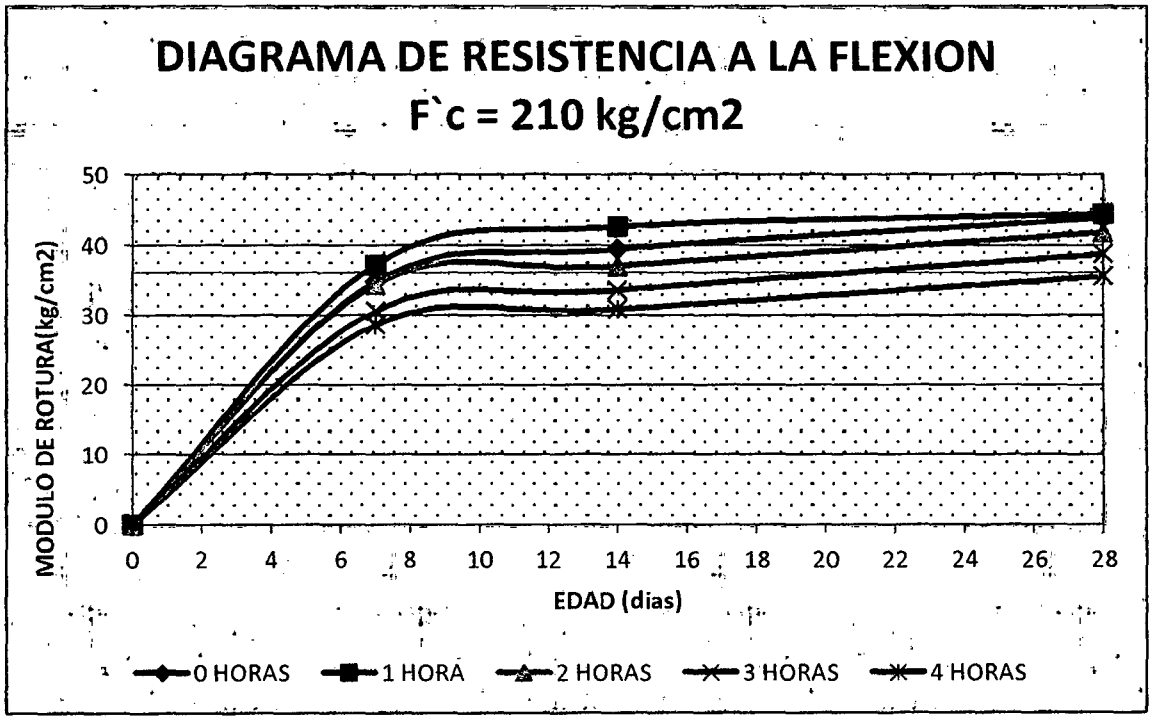


Figura 93. Curvas de resistencia a la flexión f'c=210kg/cm2

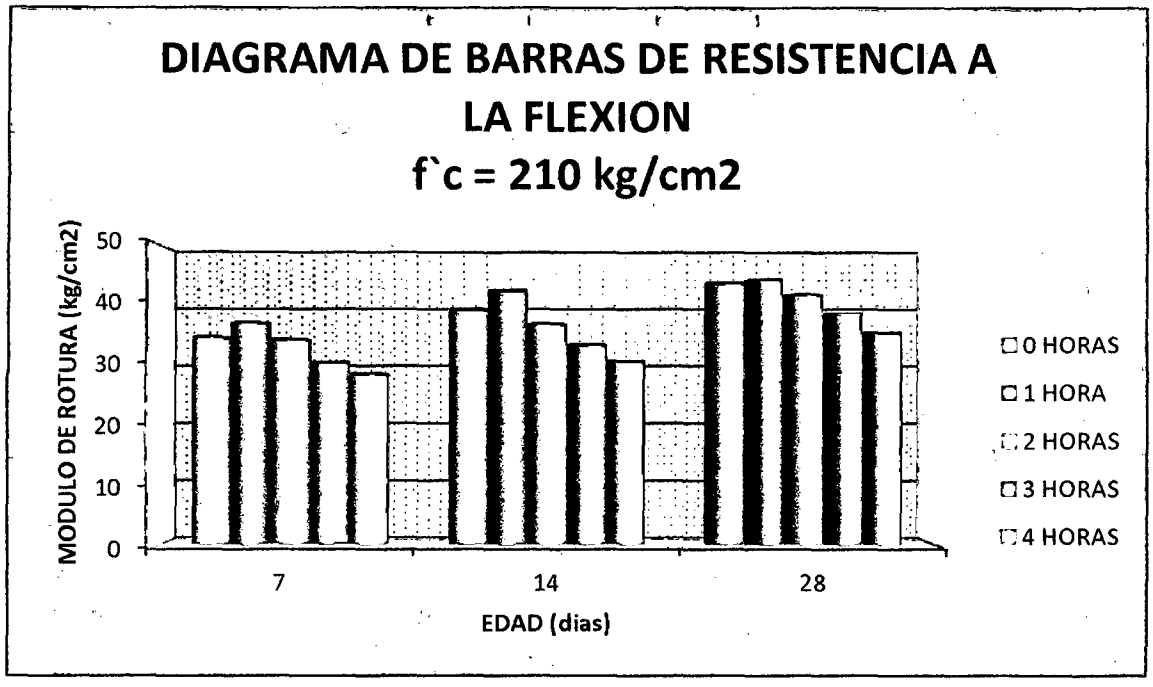


Figura 94. Barras de resistencia a la flexión f'c=210kg/cm2

6.2.2.2. VIGAS - F'c = 280 Kg/cm2

Cuadro 85. Resumen del ensayo de resistencia a la flexión f'c=280kg/cm2

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION F'c=280 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	37.03	39.56	35.03	32.58	31.47
14	42.71	43.39	37.80	36.49	34.68
28	48.52	49.09	43.49	41.54	40.10

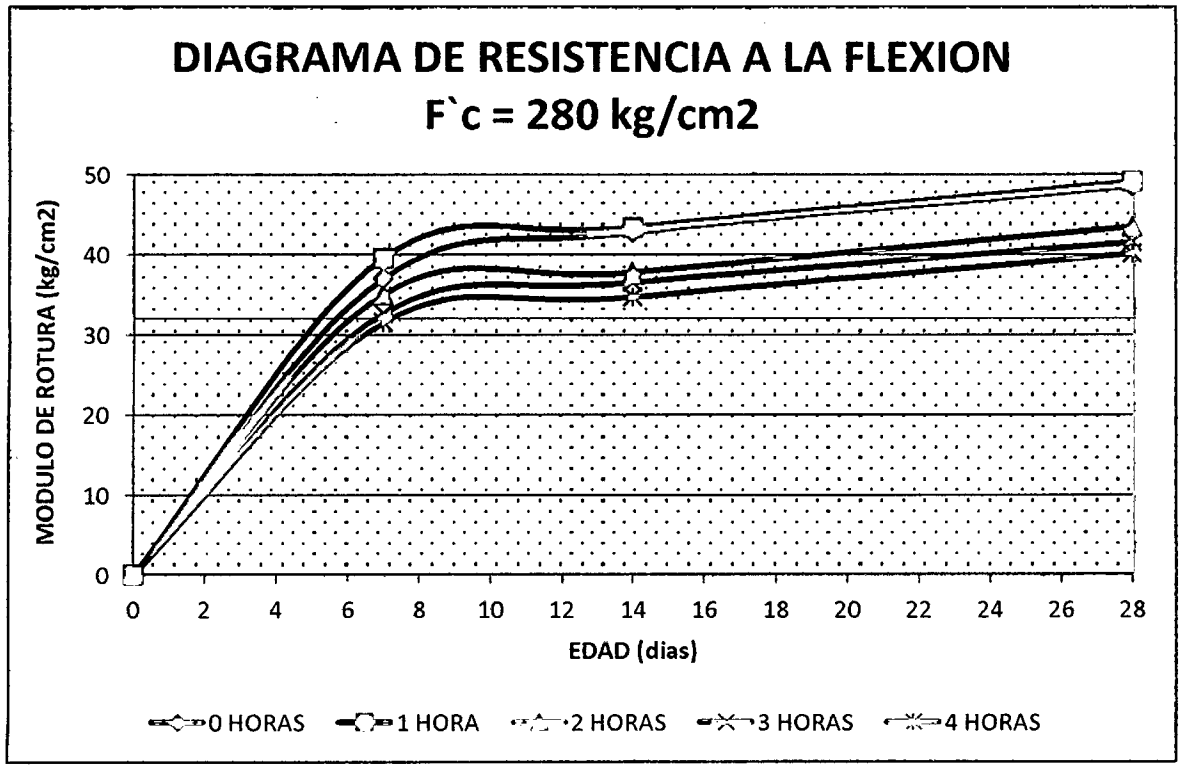


Figura 95. Curvas de resistencia a la flexión f'c=280kg/cm2

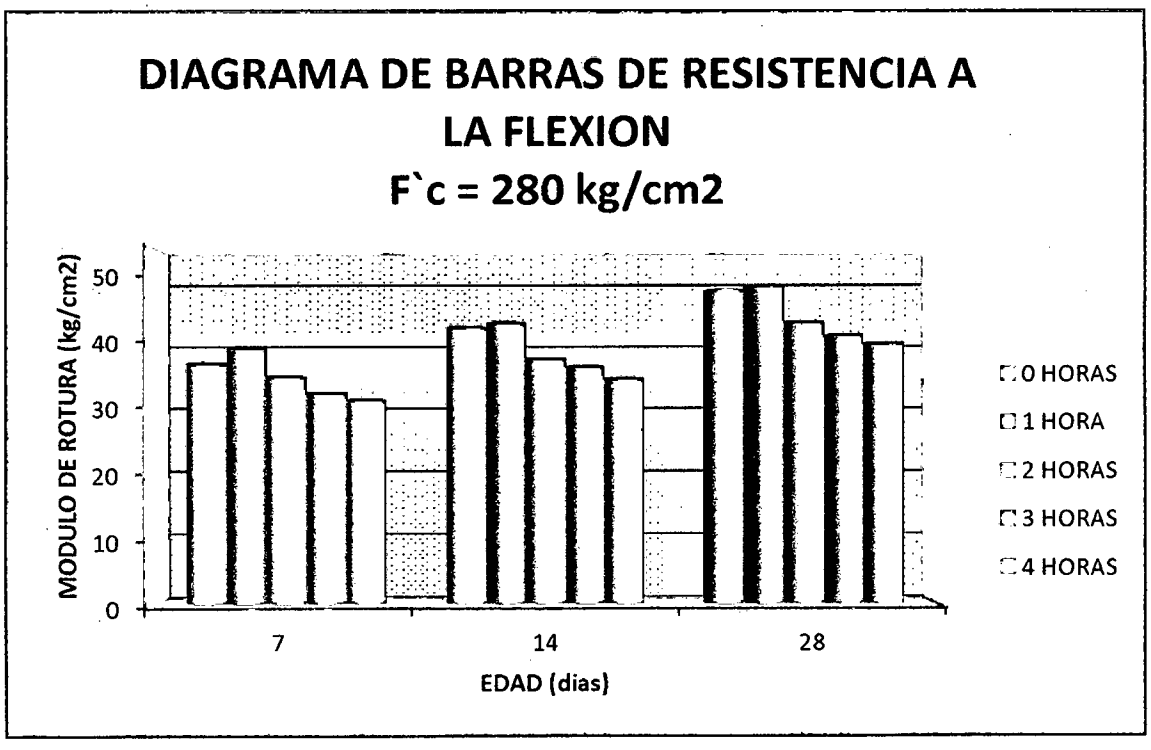


Figura 96. Barras de resistencia a la flexión f'c=280kg/cm2

6.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

6.3.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

6.3.1.1. PROBETAS - F'c = 210 Kg/cm2

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente para probetas de f'c=210kg/cm2 se observa:

- ✓ En probetas sometidas a compresión a los 7 días de curado bajo condiciones de laboratorio la resistencia del concreto con 1 hora de fraguado inicial aumenta en un 5%. Para el resto de las probetas (1, 2, 3 y 4 horas de fraguado inicial) la resistencia disminuye en porcentajes similares como se observa en el Cuadro 86.

- ✓ En probetas sometidas a compresión a los 14 días de curado bajo condiciones de laboratorio la resistencia del concreto a diferencia de las probetas ensayadas a los 7 dias la resistencia de las probetas de 1 hora de fraguado inicial aumenta en un 2%. Para el resto de las probetas (1, 2, 3 y 4 horas de fraguado inicial) la resistencia continua disminuyendo en comparación con el concreto patrón de 0 horas de fraguado inicial en porcentajes similares como se observa en el Cuadro 86.

- ✓ En probetas sometidas a compresión a los 28 días de curado bajo condiciones de laboratorio la resistencia del concreto a diferencia de las probetas ensayadas a los 7 y 14 días la resistencia de las probetas disminuye en comparación con el concreto patrón de 0 horas de fraguado inicial en porcentajes similares como se observa en el Cuadro 86. Lo cual nos demuestra que la resistencia disminuye conforme se mayor es el tiempo de fraguado inicial del concreto reutilizado.

Cuadro 86. Comparación de Resistencia a la compresión f'c=210kg/cm2.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION F'c=210 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	100%	105%	92%	88%	76%
14	100%	102%	87%	85%	70%
28	100%	92%	88%	81%	78%

- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 1 hora, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 8%.
- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 2 horas, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 12%.
- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 3 horas, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 19%.
- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 4 horas, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 22%.
- ✓ Todas las resistencias a la compresión del concreto hasta 4 horas de fraguado inicial cumplen la resistencia de 210kg/cm2 por ser superior para el diseño de mezcla de la presente investigación.

6.3.1.2. PROBETAS - F'c = 280 Kg/cm2

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente para probetas de f'c=280kg/cm2 se observa:

- ✓ En probetas sometidas a compresión a los 7 días de curado bajo condiciones de laboratorio la resistencia del concreto con 1 hora de fraguado inicial aumenta en un 3%. Para el resto de las probetas (1, 2, 3 y 4 horas de fraguado inicial) la resistencia disminuye en porcentajes similares como se observa en el Cuadro 87.

- ✓ En probetas sometidas a compresión a los 14 días de curado bajo condiciones de laboratorio la resistencia del concreto a diferencia de las probetas ensayadas a los 7 días la resistencia de las probetas de 1 hora de fraguado inicial aumenta en un 2%.

Para el resto de las probetas (1, 2, 3 y 4 horas de fraguado inicial) la resistencia continua disminuyendo en comparación con el concreto patrón de 0 horas de fraguado inicial en porcentajes similares como se observa en el Cuadro 86.

- ✓ En probetas sometidas a compresión a los 28 días de curado bajo condiciones de laboratorio la resistencia del concreto a diferencia de las probetas ensayadas a los 7 y 14 días la resistencia de las probetas disminuye en comparación con el concreto patrón de 0 horas de fraguado inicial en porcentajes similares como se observa en el Cuadro 87. Lo cual nos demuestra que la resistencia disminuye conforme se mayor es el tiempo de fraguado inicial del concreto reutilizado.

Cuadro 87. Comparación de Resistencia a la compresión f'c=280kg/cm2.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION F'c=280 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	100%	103%	92%	71%	68%
14	100%	102%	95%	90%	77%
28	100%	99%	93%	84%	78%

- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 1 hora, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 1%.
- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 2 horas, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 7%.
- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 3 horas, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 16%.
- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 4 horas, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 22%.

- ✓ Todas las resistencias a la compresión del concreto hasta 4 horas de fraguado inicial cumplen la resistencia de 280kg/cm2 por ser superior o igual para el diseño de mezcla de la presente investigación. A diferencia de las probetas de f'c=210kg/cm2 las resistencias disminuyen en mayor cantidad respecto de la resistencia patrón de 0 horas.

6.3.2. RESISTENCIA A LA TENSIÓN POR FLEXIÓN

6.3.2.1. VIGAS - F'c = 210 Kg/cm2

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente para las vigas de f'c=210kg/cm2 se observa:

- ✓ En vigas sometidas a flexión a los 7 días de curado bajo condiciones de laboratorio la resistencia del concreto con 1 hora de fraguado inicial aumenta en un 7%. Para el resto de las vigas (1, 2, 3 y 4 horas de fraguado inicial) la resistencia disminuye en porcentajes similares como se observa en el Cuadro 88.

- ✓ En vigas sometidas a flexión a los 14 días de curado bajo condiciones de laboratorio la resistencia del concreto a diferencia de las vigas ensayadas a los 7 días la resistencia de las vigas de 1 hora de fraguado inicial aumenta en un 8%. Para el resto de las vigas (1, 2, 3 y 4 horas de fraguado inicial) la resistencia continua disminuyendo en comparación con el concreto patrón de 0 horas de fraguado inicial en porcentajes similares como se observa en el Cuadro 88.

- ✓ En vigas sometidas a flexión a los 28 días de curado bajo condiciones de laboratorio la resistencia del concreto a diferencia de las vigas ensayadas a los 7 y 14 días la resistencia de las vigas disminuye en comparación con el concreto patrón de 0 horas de fraguado inicial, a excepción del concreto con 1 hora de fraguado inicial que es casi igual al valor patrón, en porcentajes similares como se observa en el Cuadro 88. Lo cual nos demuestra que la resistencia disminuye conforme se mayor es el tiempo de fraguado inicial del concreto reutilizado.

Cuadro 88. Comparación de Resistencia a la tensión por flexión f'c=210kg/cm2.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION F'c=210 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	100%	107%	99%	88%	82%
14	100%	108%	94%	85%	78%
28	100%	101%	95%	88%	81%

- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 1 hora, la resistencia a la flexión a los 28 días aumenta ligeramente en un 1%.
- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 2 horas, la resistencia a la flexión a los 28 días disminuye en un 5%.
- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 3 horas, la resistencia a la flexión a los 28 días disminuye en un 12%.
- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 4 horas, la resistencia a la flexión a los 28 días disminuye en un 19%.

- ✓ Todas las resistencias a la flexión del concreto hasta 4 horas de fraguado inicial cumplen la resistencia a la flexión por ser superior al módulo de rotura teórico para cada resistencia a la compresión hallada en laboratorio (Ver Anexo E).

6.3.2.2. VIGAS - F'c = 280 Kg/cm2

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente para las vigas de f'c=280kg/cm2 se observa:

- ✓ En vigas sometidas a flexión a los 7 días de curado bajo condiciones de laboratorio la resistencia del concreto con 1 hora de fraguado inicial aumenta en un 7%. Para el resto de las vigas (1, 2, 3 y 4 horas de fraguado inicial) la resistencia disminuye en porcentajes similares como se observa en el Cuadro 89.

- ✓ En vigas sometidas a flexión a los 14 días de curado bajo condiciones de laboratorio la resistencia del concreto a diferencia de las vigas ensayadas a los 7 días la resistencia de las vigas de 1 hora de fraguado inicial aumenta en un 2%. Para el resto de las vigas (1, 2, 3 y 4 horas de fraguado inicial) la resistencia continua disminuyendo en comparación con el concreto patrón de 0 horas de fraguado inicial en porcentajes similares como se observa en el Cuadro 89.

- ✓ En vigas sometidas a flexión a los 28 días de curado bajo condiciones de laboratorio la resistencia del concreto a diferencia de las vigas ensayadas a los 7 y 14 días la resistencia de las vigas disminuye en comparación con el concreto patrón de 0 horas de fraguado inicial, a excepción del concreto con 1 hora de fraguado inicial que es casi igual al valor patrón, en porcentajes similares como se observa en el Cuadro 89. Lo cual nos demuestra que la resistencia disminuye conforme se mayor es el tiempo de fraguado inicial del concreto reutilizado.

Cuadro 89. Comparación de Resistencia a la tensión por flexión f'c=280kg/cm2

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION F'c=280 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	100%	107%	95%	88%	85%
14	100%	102%	88%	85%	81%
28	100%	101%	90%	86%	83%

- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 1 hora, la resistencia a la flexión a los 28 días aumenta ligeramente en un 1%.
- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 2 horas, la resistencia a la flexión a los 28 días disminuye en un 10%.
- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 3 horas, la resistencia a la flexión a los 28 días disminuye en un 14%.
- ✓ Para un concreto con fraguado inicial de 4 horas, la resistencia a la flexión a los 28 días disminuye en un 17%.

✓ Todas las resistencias a la flexión del concreto hasta 4 horas de fraguado inicial cumplen la resistencia a la flexión por ser superior al módulo de rotura teórico para cada resistencia a la compresión hallada en laboratorio (Ver Anexo E).

6.3.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

6.3.3.1. PROBETAS - F'c = 210 Kg/cm2

La elaboración de especímenes fue con el diseño de mezclas para un concreto f'c=210 kg/cm2 adicionado de una cantidad de agua tal que se eleve la relación a/c.
Las relaciones a/c requeridas para el análisis serán: 0.60 y 0.68. Cuyas probetas serán ensayas a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado.

Cuadro 90. Resistencias a la compresión para diferentes relaciones a/c f'c=210kg/cm2

Resistencia a la compresión [Kg/cm2]			
a/c	Dias de curado		
	7	14	28
0.59	201.00	252.41	284.50
0.60	190.18	230.10	245.24
0.68	148.62	173.54	193.67

Los resultados obtenidos son comparados con el concreto patrón (concreto con 0 horas de fraguado inicial) cuya relación a/c es de 0.59.
Esta comparación se efectúa para conocer la influencia del aumento de relación a/c en la resistencia a la compresión.

Cuadro 91. Comparación de resistencias a la compresión en porcentaje f'c=210kg/cm2

Comparación en porcentaje de Resistencias a la Compresión - f'c=210kg/cm2						
a/c	Dias de curado			Concreto Reutilizado		
	7	14	28	7	14	28
0.59	100%	100%	100%	100%	100%	100%
0.60	95%	91%	86%	105%	102%	92%
0.68	74%	69%	68%	76%	70%	78%

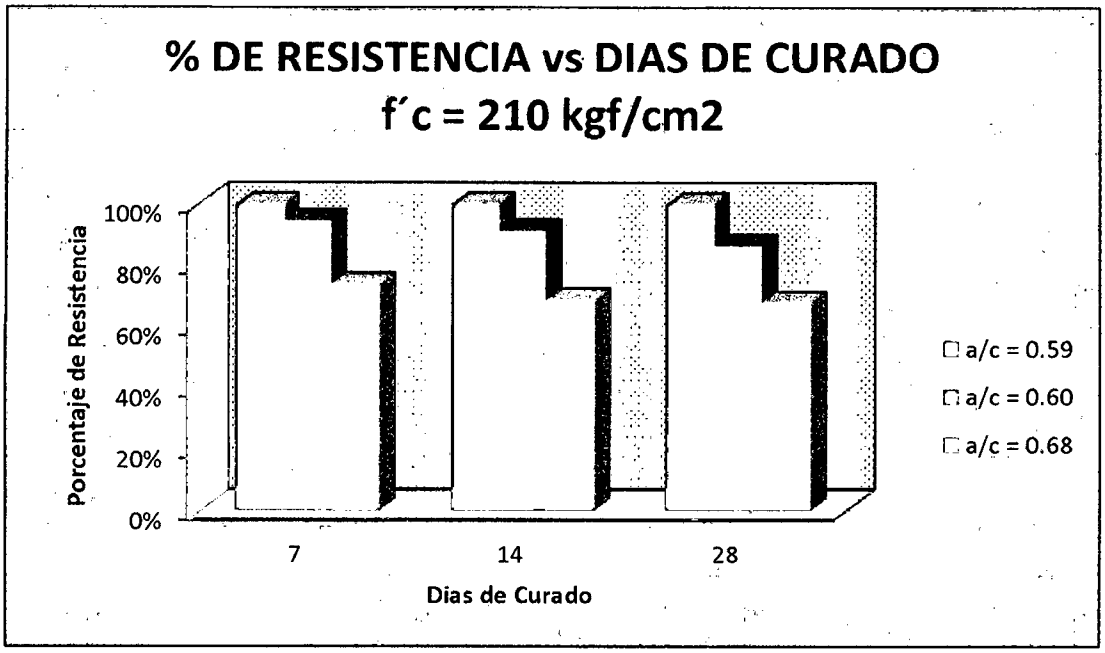


Figura 97. Barras de resistencias a la compresión en porcentajes f'c=210kg/cm2

La relación a/c de un concreto normal no es comparable con la relación a/c final de un concreto reutilizado en su etapa de fraguado. Debido a la gran diferencia de resistencias a la compresión que ofrecen, el concreto reutilizado presente mayor resistencia según el cuadro 91.

6.3.3.2. PROBETAS - F'c = 280 Kg/cm2

La elaboración de especímenes fue con el diseño de mezclas para un concreto f'c=280 kg/cm2 adicionado de una cantidad de agua tal que se eleve la relación a/c.
Las relaciones a/c requeridas para el análisis serán: 0.50 y 0.57. Cuyas probetas serán ensayas a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado.

Cuadro 92. Resistencias a la compresión para diferentes relaciones a/c f'c=280kg/cm2

Resistencia a la compresión [Kg/cm2]			
a/c	Dias de curado		
	7	14	28
0.49	252.81	309.50	359.62
0.50	246.71	304.81	346.72
0.57	193.75	226.85	249.76

Los resultados obtenidos son comparados con el concreto patrón (concreto con 0 horas de fraguado inicial) cuya relación a/c es de 0.49.

Esta comparación se efectúa para conocer la influencia del aumento de relación a/c en la resistencia a la compresión.

Cuadro 93. Comparación de resistencias a la compresión en porcentaje f'c=280kg/cm2

Comparación en porcentaje de Resistencias a la Compresión - f'c=280kg/cm2						
a/c	Concreto Normal			Concreto Reutilizado		
	7	14	28	7	14	28
0.49	100%	100%	100%	100%	100%	100%
0.50	98%	98%	96%	103%	102%	99%
0.57	77%	73%	69%	68%	77%	78%

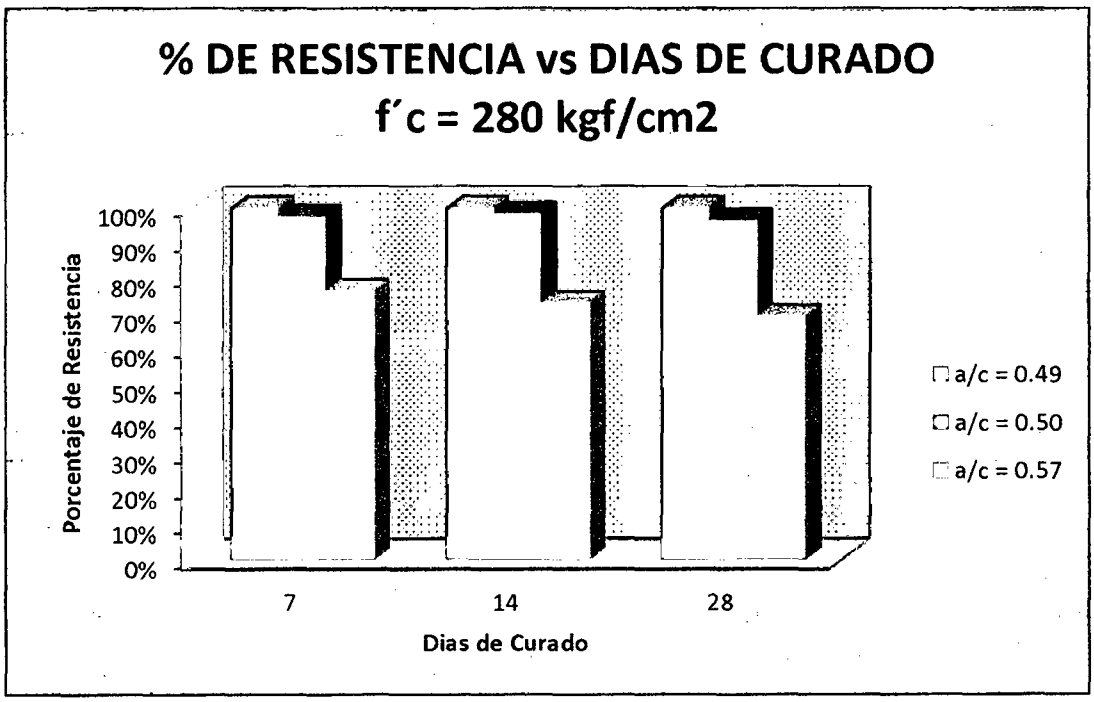


Figura 98. Barras de resistencias a la compresión en porcentajes f'c=280kg/cm2

Al igual que para un concreto f'c=210kg/cm2 la relación a/c de un concreto normal no es comparable con la relación a/c final de un concreto reutilizado en su etapa de fraguado. Debido a la gran diferencia de resistencias a la compresión que ofrecen, el concreto reutilizado presente mayor resistencia según el cuadro 93.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. El tiempo de fraguado de la pasta de cemento para una relación a/c = 0.59, correspondiente a un diseño de mezcla para un f'c=210kg/cm2, es 372.6 minutos (6 horas y 13minutos). Experimentalmente pasadas las 4 horas de fraguado inicial el concreto adquiere una consistencia "no trabajable" lo cual limita a realizar el análisis solo hasta 4 horas posteriores al mezclado.

2. El tiempo de fraguado de la pasta de cemento para una relación a/c = 0.50, correspondiente a un diseño de mezcla para un f'c=280kg/cm2, es 308.9 minutos (5horas y 9minutos). Experimentalmente pasadas las 4 horas de fraguado inicial el concreto adquiere una consistencia "no trabajable" lo cual limita a realizar el análisis solo hasta 4 horas posteriores al mezclado.

3. La trabajabilidad inicial de un concreto en proceso de fraguado puede recuperarse con la adición de agua y un correcto mezclado siempre que el concreto no se encuentre en el estado endurecido.

Resumen de Agua Adicionada por M3 de Concreto					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
F'C =210KG/CM2					
Agua añadida Promedio - Probetas (Lt)	0.00	4.25	8.18	15.52	36.27
Agua añadida Promedio - Vigas (Lt)	0.00	4.87	8.96	16.08	37.46
F'C =280KG/CM2					
Agua añadida Promedio - Probetas (Lt)	0.00	3.28	7.52	15.73	31.76
Agua añadida Promedio - Vigas (Lt)	0.00	3.67	7.97	15.87	30.90

4. La trabajabilidad del concreto en proceso de fraguado disminuye a medida que aumenta el tiempo de fraguado inicial de la siguiente forma:
   Para un concreto f'c=210kg/cm2 el slump disminuye gradualmente: 3.40, 2.60, 2.50, 1.60 y 0.15 pulgadas; para 0, 1, 2, 3 y 4 horas de fraguado inicial.
   De la misma forma para un concreto f'c=280kg/cm2 el slump disminuye gradualmente: 3.50, 2.60, 2.20, 1.00 y 0.15 pulgadas; para 0, 1, 2, 3 y 4 horas de fraguado inicial.

5. Para un concreto f'c=210kg/cm2 reutilizado con el tiempo de fraguado inicial de 1 hora después del mezclado, se tiene una disminución del 8% y para el mayor tiempo de fraguado inicial, 4 horas después del mezclado, se tiene una disminución del 22%. Ambos valores comparados con un concreto patrón elaborado con el mismo diseño de mezcla y bajo las mismas condiciones de mezclado, colocación, vibrado y curado. Así mismo:

   Para un concreto con fraguado inicial de 1 hora, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 8%.
   Para un concreto con fraguado inicial de 2 horas, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 12%.
   Para un concreto con fraguado inicial de 3 horas, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 19%.
   Para un concreto con fraguado inicial de 4 horas, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 22%.

6. Para un concreto f'c=280kg/cm2 reutilizado con el tiempo de fraguado inicial de 1 hora después del mezclado, se tiene una disminución del 1% y para el mayor tiempo de fraguado inicial, 4 horas después del mezclado, se tiene una disminución del 22%. Ambos valores comparados con un concreto patrón elaborado con el mismo diseño de mezcla y bajo las mismas condiciones de mezclado, colocación, vibrado y curado. Así mismo:

   Para un concreto con fraguado inicial de 1 hora, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 1%.
   Para un concreto con fraguado inicial de 2 horas, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 7%.
   Para un concreto con fraguado inicial de 3 horas, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 16%.
   Para un concreto con fraguado inicial de 4 horas, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye en un 22%.

7. Para un concreto f'c=210kg/cm2 reutilizado con el tiempo de fraguado inicial de 1 hora después del mezclado, se tiene un ligero incremento del 1% y para el mayor tiempo de fraguado inicial, 4 horas después del mezclado, se tiene una disminución del 19%. Ambos valores comparados con un concreto patrón elaborado con el mismo diseño de mezcla y bajo las mismas condiciones de mezclado, colocación, vibrado y curado. Así mismo:

   Para un concreto con fraguado inicial de 1 hora, la resistencia a la flexión a los 28 días aumenta ligeramente en un 1%.
   Para un concreto con fraguado inicial de 2 horas, la resistencia a la flexión a los 28 días disminuye en un 5%.
   Para un concreto con fraguado inicial de 3 horas, la resistencia a la flexión a los 28 días disminuye en un 12%.
   Para un concreto con fraguado inicial de 4 horas, la resistencia a la flexión a los 28 días disminuye en un 19%.

8. Para un concreto f'c=280kg/cm2 reutilizado con el tiempo de fraguado inicial de 1 hora después del mezclado, se tiene un ligero incremento del 1% y para el mayor tiempo de fraguado inicial, 4 horas después del mezclado, se tiene una disminución del 17%. Ambos valores comparados con un concreto patrón elaborado con el mismo diseño de mezcla y bajo las mismas condiciones de mezclado, colocación, vibrado y curado. Así mismo:

   Para un concreto con fraguado inicial de 1 hora, la resistencia a la flexión a los 28 días aumenta ligeramente en un 1%.
   Para un concreto con fraguado inicial de 2 horas, la resistencia a la flexión a los 28 días disminuye en un 10%.
   Para un concreto con fraguado inicial de 3 horas, la resistencia a la flexión a los 28 días disminuye en un 14%.
   Para un concreto con fraguado inicial de 4 horas, la resistencia a la flexión a los 28 días disminuye en un 17%.

9. Por inspección visual la adherencia de la pasta de cemento con el agregado se ve afectada a medida que se eleva el tiempo de fraguado inicial debido al incremento de la relación agua/cemento. Las fallas del concreto a compresión y flexión muestran la disminución de adherencia.

10. La exudación no se ve afectada en ninguno de los casos de fraguado tanto para f'c=210kg/cm2 y f'c=280kg/cm2 debido a la evaporación del agua de exudación del concreto inicial la que es reemplazada parcialmente durante el nuevo proceso de mezclado, colocado y vibrado.

11. La reutilización del concreto en proceso de fraguado si es posible hasta un máximo de 4 horas posteriores al mezclado para un concreto de f'c=210kg/cm2 y f'c=280kg/cm2 elaborados con agregados de la cantera "La Poderosa".

RECOMENDACIONES

- ✓ Reutilizar el concreto hasta un máximo de 4 horas posteriores al mezclado para concretos de f'c=210kg/cm2 y f'c=280kg/cm2 elaborados con materiales de propiedades similares a los de la presente investigación.

- ✓ Ampliar el estudio de la presente investigación con el uso de aditivos plastificantes en reemplazo del agua.

- ✓ Realizar el estudio utilizando agregados de diferentes canteras que se encuentran en el mercado, teniendo en consideración la variación de las propiedades físicas y mecánicas de cada uno de los agregados.

- ✓ En el proceso de reutilización agregar el agua con el mayor cuidado posible tomando medidas de slump de manera frecuente.

- ✓ Realizar el estudio con resistencias a la compresión mayores y menores a las presentes en la investigación (175, 350, 420 kg/cm2, y otros).

- ✓ Los resultados obtenidos son para condiciones climáticas típicas de la ciudad de Arequipa, se recomienda analizar el concreto reutilizado ante condiciones climáticas severas.

- ✓ Para efectos de la presente investigación (trabajo de laboratorio), debido a que se trabajan con mezclas de concreto a pequeña escala, se recomienda tener un control diario del Contenido de Humedad del Agregado, ya que variaciones de este se traduce en cambios considerables en las proporciones de la mezcla.

- ✓ Realizar la prueba de resistencia a la abrasión del concreto, la cual no fue posible por falta de equipamiento en el laboratorio de concreto de la UNSA.

- ✓ Analizar el efecto de temperaturas severas en el concreto reutilizado al ser colocado, que no están comprendidas en el rango establecido por el RNE E060 (mayor a 32 °C y menores a 10 °C).

BIBLIOGRAFIA

ENRIQUE PASQUEL CARBAJAL, Tecnología del Concreto, Primera Edición, CAPÍTULO Peruano del ACI, Perú 1998.

ENRIQUE PASQUEL CARBAJAL, Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú, Primera Versión Electrónica, Perú 1999.

ENRIQUE RIVVA LOPEZ, Naturaleza y Materiales del Concreto, II Congreso Nacional de Estructuras y Construcción, CAPÍTULO Peruano ACI, Primera Edición Diciembre 2000.

ENRIQUE RIVVA LOPEZ, 2010, Diseño de Mezclas, Editorial ICG, Concreto Tomo II, Primera Edición.

A. M. NEVILLE Y J. J. BROOKS, Tecnología del Concreto, 1998, Editorial Trillas, Versión autorizada en español, México.

FLAVIO ABANTO CASTILLO, Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas), Editorial San Marco, Lima – Perú.

CARLOS A. HUERTA CAMPOS, Diseño de Mezclas de Concreto, Publicación hecha por el Profesor de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima 22de mayo 2013.

MANUAL ELABORADO POR EL INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM, Y POR LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, Manual de Tecnología del Concreto, Sección 3, Primera Edición, 1994, Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores, México.

MARIA ANABELA GABALEC, 2008, Tiempo de Fraguado del Hormigón, Tesis de Becarios de Investigación, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata.

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCION, Manual de Laboratorio, 2005, LEM – Universidad de Mayagüez, Puerto Rico.

HEMERLY RENE SURCO GUTIERREZ & RICARDO SUNI PINEDA, 2008, Estudio del Comportamiento del Concreto con Adición de Fibras de Caucho, Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa – Perú.

JEFFREY JOHAN SOLIS PINTO & VANIA ALEXANDRA MORALES CHUQUIMIA, 2013, Propuesta de Modificación de la Formula para la Estimación del Módulo de Elasticidad del Concreto en la Ciudad de Arequipa, Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa – Perú.

NORMA IRAM 1622, Hormigones y Materiales, Determinación del Tiempo de Fraguado.

REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, E060: Concreto Armado.

MTC E 606 – 2000: tiempo de fraguado del cemento hidráulico (Método de Vicat).

NORMAS TECNICAS PERUANAS

NTP 400.010: extracción y preparación de las muestras.

NTP 400.011: definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones.

NTP 400.012: análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

NTP 400.017: método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados.

NTP 400.018: método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (No. 200) por lavado en agregados.

NTP 400.019: método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles.

NTP 400.021 método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.

NTP 400.022: método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.

NTP 334.005: método de ensayo para determinar la densidad del cemento portland.

NTP 339.034: método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas.

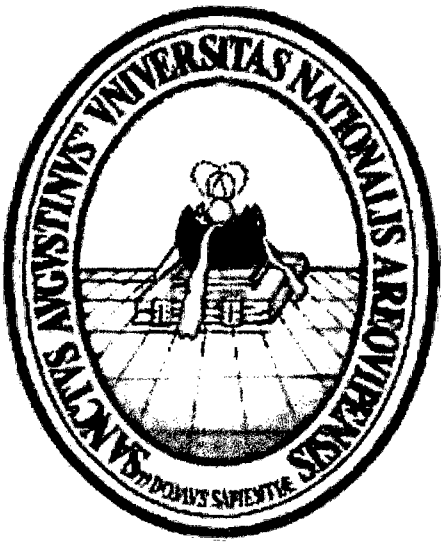
NTP 339.035: método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland.

NTP 339.046: método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico del hormigón).

NTP 339.183: práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de hormigón (concreto) en el laboratorio.

NTP 339.184: método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón.

NTP 339.184: método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón.

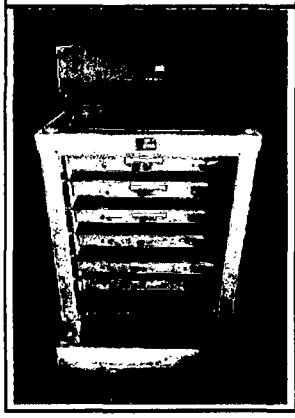

SANCTVS AVGVSTINVS VNIVERSITAS NATIONALIS AREQVIPENSIS
SAPIENTIA

ANEXOS

ANEXO A

PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO
MUESTRA M-1

CANTERA "LA PODEROSA" - M1						
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO PARA EL CONCRETO	PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 10Kg					
	TAMIZ		Peso Retenido (kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
	Pulg	mm				
	1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
	3/4"	19.00	0.73	7.34	7.34	92.66
	1/2"	12.70	4.87	48.68	56.02	43.98
	3/8"	9.51	1.89	18.89	74.91	25.09
	#4	4.75	2.19	21.89	96.80	3.20
	Fondo		0.32	3.20	100.00	0.00
	Total		10.00	100.00	-	-

Modulo de Fineza = 6.72
% Pasante Malla #4 = 3.20

TABLA A. 1 Granulometría del Agregado Grueso - Muestra M-1.

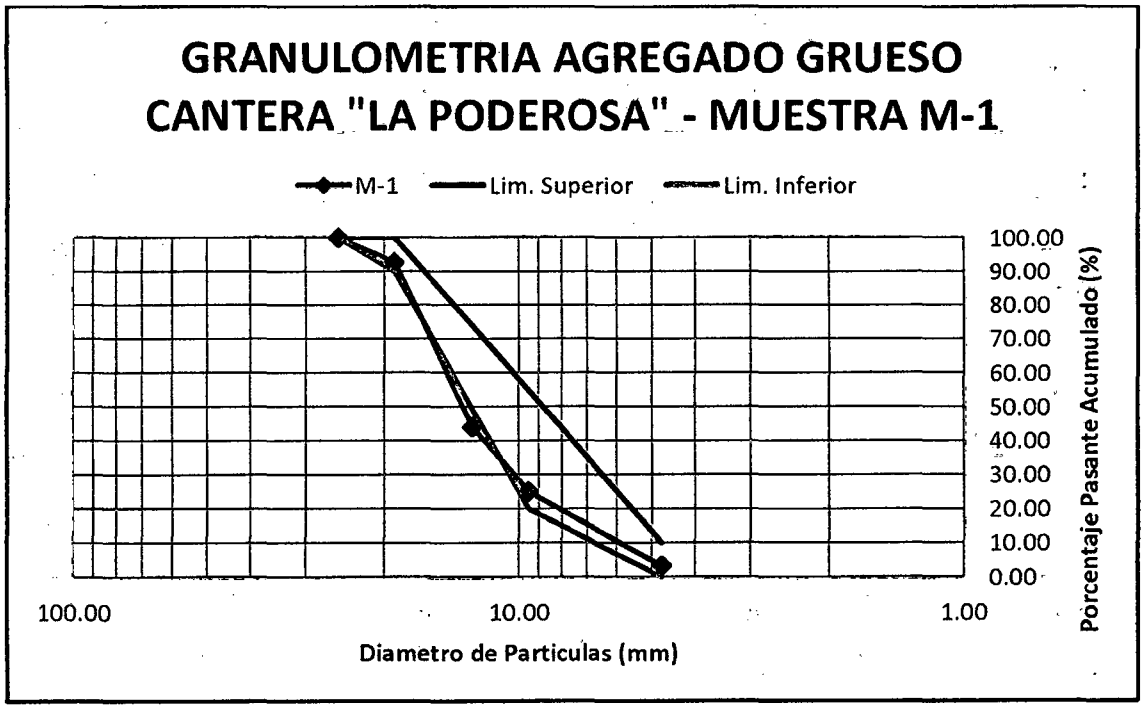


GRAFICO A. 1 Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Muestra M-1.

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO
MUESTRA M-2

CANTERA "LA PODEROSA" - M2						
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO PARA EL CONCRETO	PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 10Kg					
	TAMIZ		Peso Retenido (kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
	Pulg	mm				
	1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
	3/4"	19.00	0.44	4.43	4.43	95.57
	1/2"	12.70	4.82	48.24	52.67	47.33
	3/8"	9.51	1.98	19.81	72.48	27.52
	#4	4.75	2.33	23.32	95.80	4.20
	Fondo		0.42	4.20	100.00	0.00
	Total		10.00	100.00	-	-

Modulo de Fineza = 6.68
% Pasante Malla #4 = 4.20

TABLA A. 2 Granulometría del Agregado Grueso - Muestra M-2.

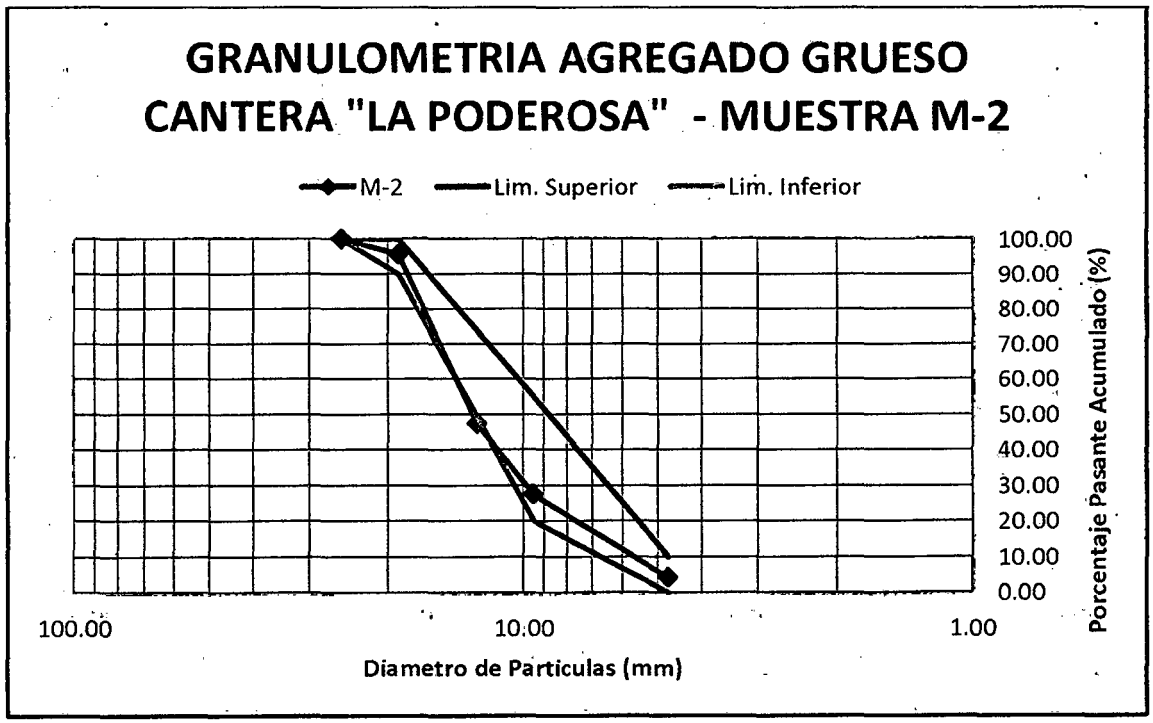
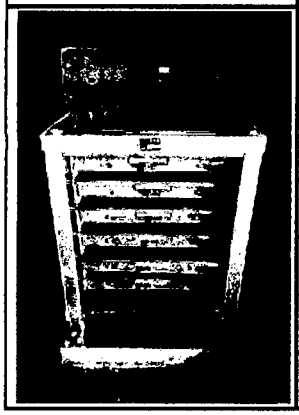


GRAFICO A. 2 Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Muestra M-2.

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO
MUESTRA M-3

CANTERA "LA PODEROSA" - M3						
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO PARA EL CONCRETO	PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 10Kg					
	TAMIZ		Peso Retenido (kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
	Pulg	mm				
	1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
	3/4"	19.00	0.61	6.09	6.09	93.91
	1/2"	12.70	4.67	46.69	52.78	47.22
	3/8"	9.51	2.34	23.40	76.17	23.83
	#4	4.75	2.02	20.23	96.40	3.60
	Fondo		0.36	3.60	100.00	0.00
	Total		10.00	100.00	-	-

Modulo de Fineza = 6.73
% Pasante Malla #4 = 3.60

TABLA A. 3 Granulometría del Agregado Grueso - Muestra M-3.

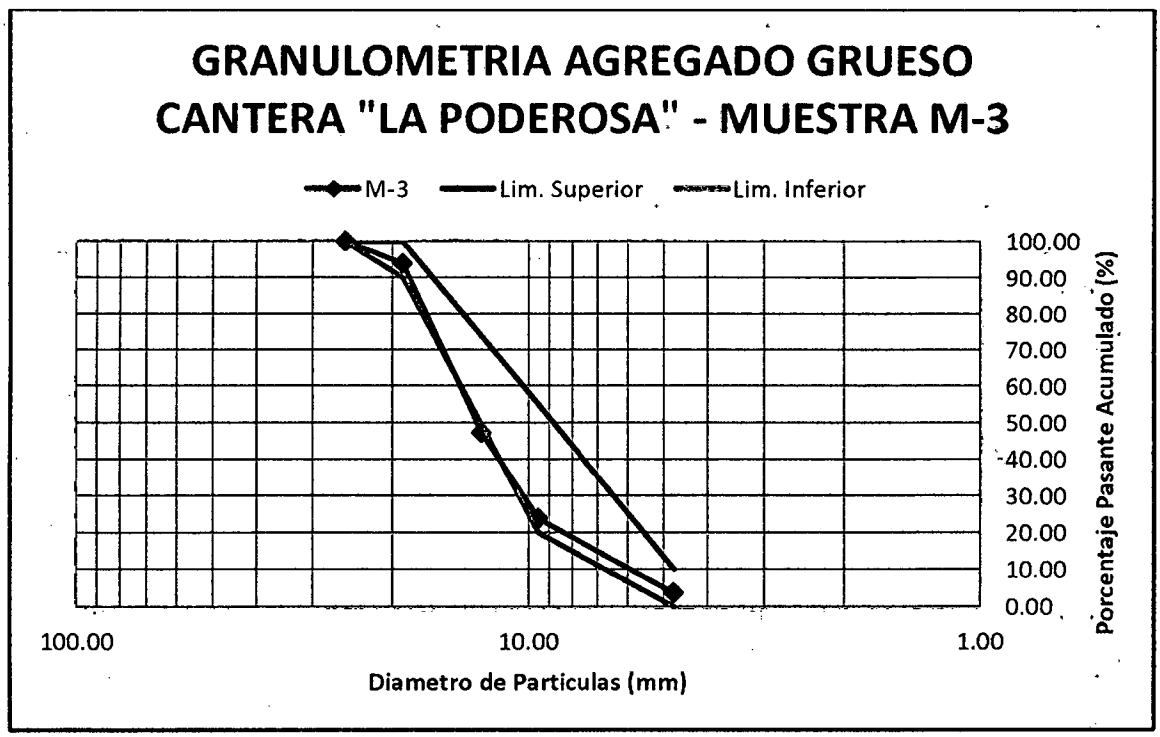


GRAFICO A. 3 Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Muestra M-3.

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO
MUESTRA M-1

CANTERA "LA PODEROSA" - M1						
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO PARA EL CONCRETO	PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 1000gr					
	TAMIZ		Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
	Pulg	mm				
	3/8"	9.510	0.00	0.00	0.00	100.00
	#4	4.750	2.00	0.20	0.20	99.80
	#8	2.381	106.20	10.62	10.82	89.18
	#16	1.190	258.80	25.88	36.70	63.30
	#30	0.596	253.40	25.34	62.04	37.96
	#50	0.298	169.00	16.90	78.94	21.06
	#100	0.148	123.10	12.31	91.25	8.75
	#200	0.074	68.40	6.84	98.09	1.91
	Fondo		19.10	1.91	100.00	0.00
	Total		1000.00	100.00	-	-

Modulo de Fineza = 2.80

TABLA A. 4 Granulometría del Agregado Fino - Muestra M-1.

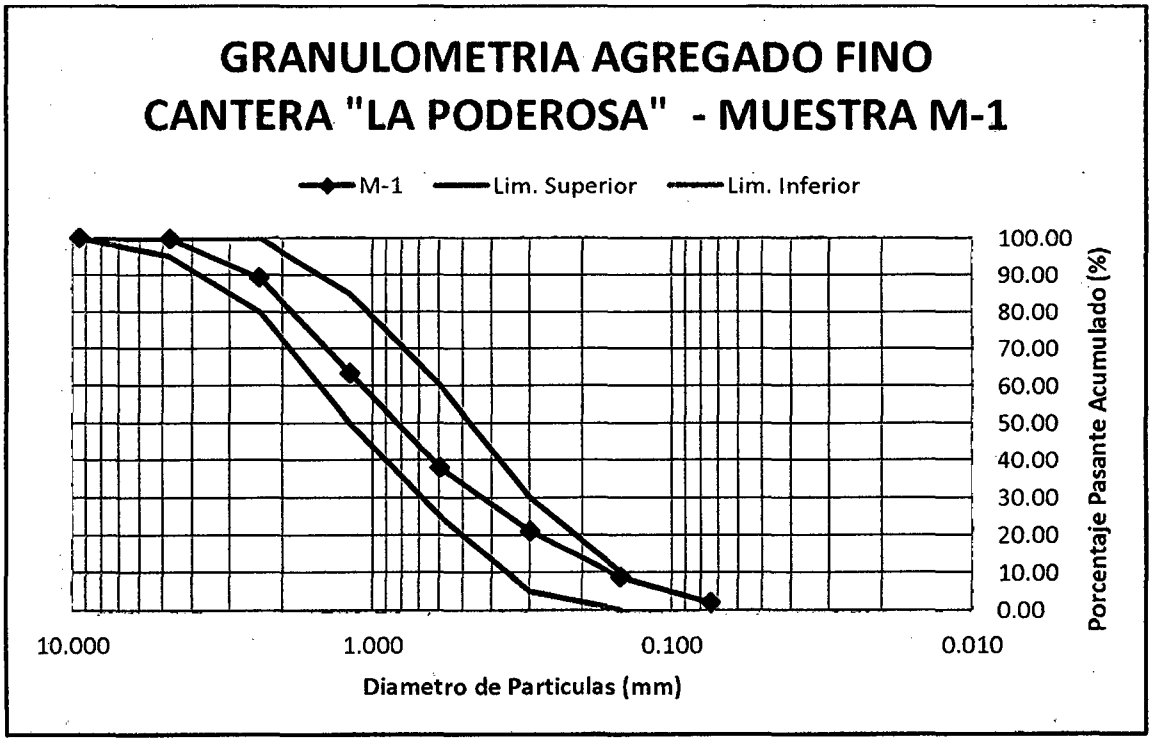


GRAFICO A. 4 Curva Granulométrica del Agregado Fino - Muestra M-1.

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO
MUESTRA M-2

CANTERA "LA PODEROSA" - M2						
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO PARA EL CONCRETO	PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 1000gr					
	TAMIZ		Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
	Pulg	mm				
	3/8"	9.510	0.00	0.00	0.00	100.00
	#4	4.750	2.15	0.22	0.22	99.79
	#8	2.381	108.35	10.84	11.05	88.95
	#16	1.190	263.45	26.35	37.40	62.61
	#30	0.596	262.25	26.23	63.62	36.38
	#50	0.298	169.35	16.94	80.56	19.45
	#100	0.148	128.55	12.86	93.41	6.59
	#200	0.074	55.85	5.59	99.00	1.01
	Fondo		10.05	1.01	100.00	0.00
	Total		1000.00	100.00	-	-

Modulo de Fineza = 2.86

TABLA A. 5 Granulometría del Agregado Fino - Muestra M-2.

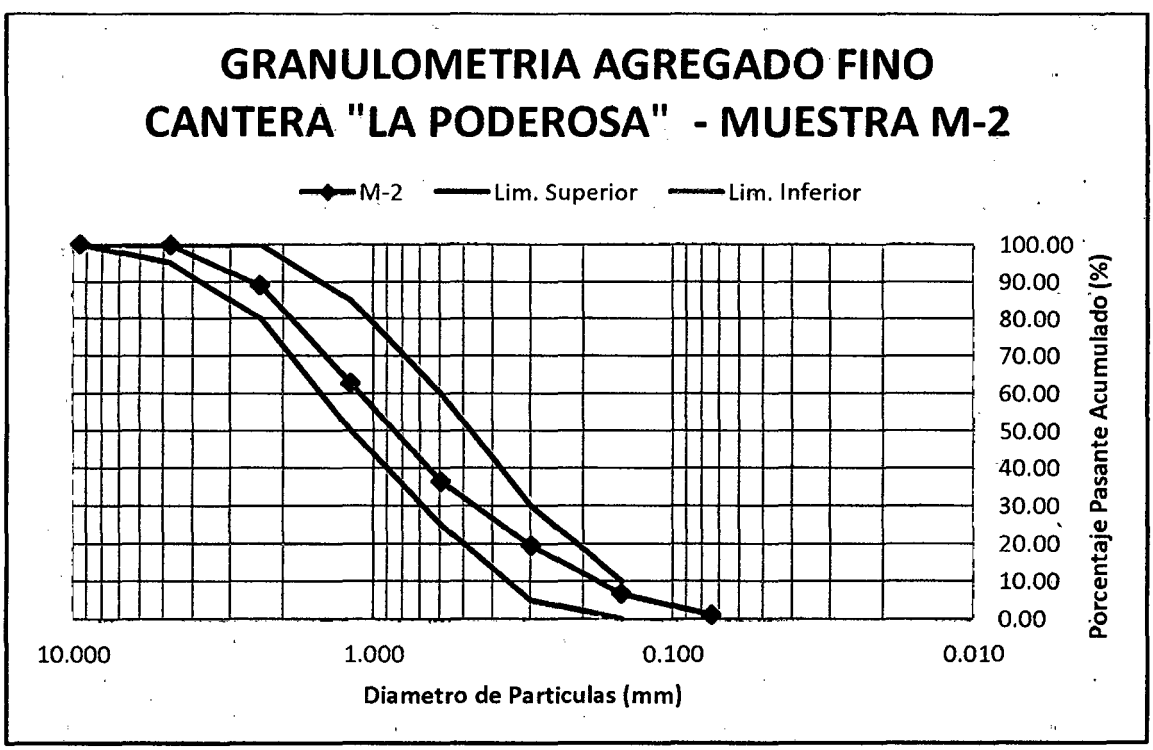


GRAFICO A. 5 Curva Granulométrica del Agregado Fino - Muestra M-2.

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO
MUESTRA M-3

CANTERA "LA PODEROSA" - M3						
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO PARA EL CONCRETO	PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 1000gr					
	TAMIZ		Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
	Pulg	mm				
	3/8"	9.510	0.00	0.00	0.00	100.00
	#4	4.750	4.38	0.44	0.44	99.56
	#8	2.381	125.08	12.51	12.95	87.05
	#16	1.190	288.88	28.89	41.83	58.17
	#30	0.596	256.78	25.68	67.51	32.49
	#50	0.298	148.99	14.90	82.41	17.59
	#100	0.148	97.80	9.78	92.19	7.81
	#200	0.074	63.29	6.33	98.52	1.48
	Fondo		14.80	1.48	100.00	0.00
	Total		1000.00	100.00	-	-

Modulo de Fineza = 2.97

TABLA A. 6 Granulometría del Agregado Fino - Muestra M-3.

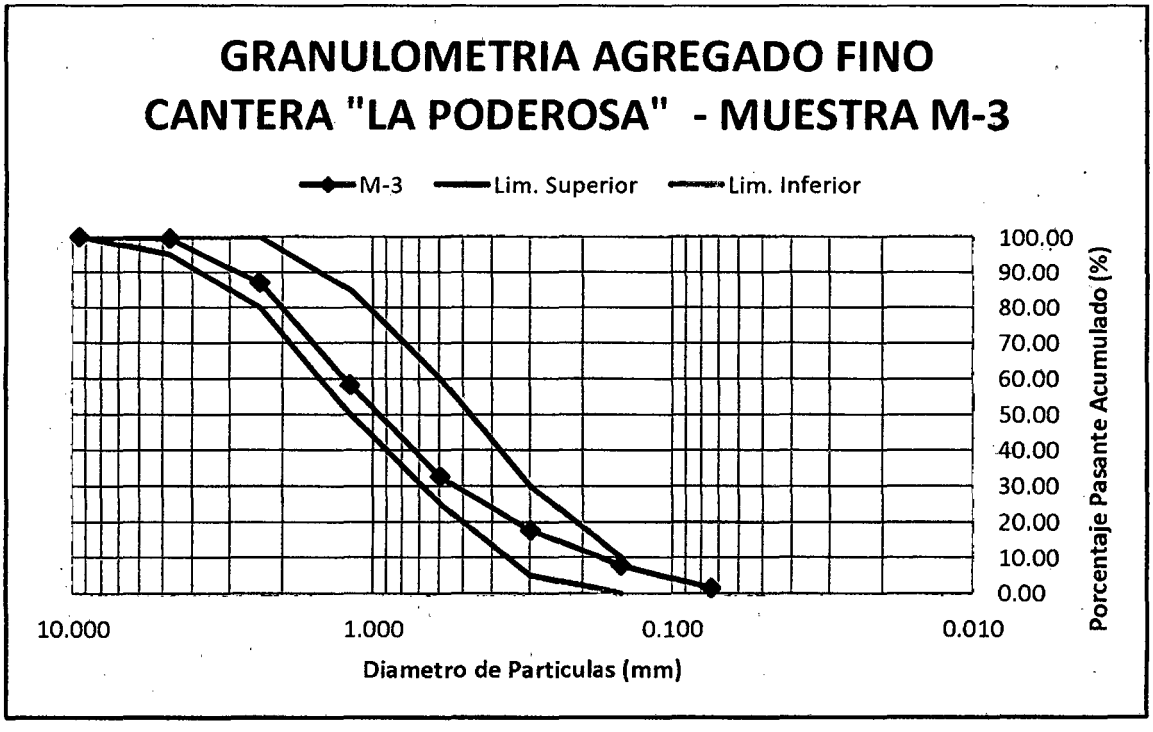


GRAFICO A. 6 Curva Granulométrica del Agregado Fino - Muestra M-3.

PESO ESPECÍFICO - AGREGADO GRUESO

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso Saturado Superficialmente Seco (Wsss)	gr	3000.00	3000.00	3000.00
Peso de Muestra Seca (Ws)	gr	2970.00	2985.00	2983.00
Peso de Muestra Sumergida (Wsum)	gr	1915.40	1910.80	1908.70
Volumen de Muestra (Vdes)	cm^3	1084.60	1089.20	1091.30
Peso Especifico Seco (PE)	gr/cm^3	**2.74**	**2.74**	**2.73**
P.E. Saturado Superficialmente Seco (Pesss)	gr/cm^3	2.77	2.75	2.75

Peso Especifico = 2.74 gr/cm3

TABLA A. 7 Ensayo de Peso Específico del Agregado Grueso.

ABSORCIÓN - AGREGADO GRUESO

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso Saturado Superficialmente Seco (Wsss)	gr	3000.00	3000.00	3000.00
Peso de Muestra Seca (Ws)	gr	2970.00	2985.00	2983.00
Absorcion	%	1.00	0.50	0.57

Absorción = 0.69 %

TABLA A. 8 Ensayo de Absorción del Agregado Grueso.

CONTENIDO DE HUMEDAD - AGREGADO GRUESO

CANTERA "LA PODEROSA"			
Muestra	Peso Natural de la Muestra (gr)	Peso Seco de la Muestra (gr)	Contenido de Humedad (%)
M - 1	2000.00	1996.10	**0.20**
M - 2	2000.00	1995.60	**0.22**
M - 3	2000.00	1995.00	**0.25**

Contenido de Humedad = 0.22 %

TABLA A. 9 Ensayo de Contenido de Humedad del Agregado Grueso.

PESO UNITARIO SUELTO - AGREGADO GRUESO

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de Muestra + Peso de Molde (Pm+mld)	gr	10700.00	10700.00	10850.00
Peso del Molde (Pmld)	gr	5500.00	5500.00	5500.00
Peso de la Muestra (Pm)	gr	5200.00	5200.00	5350.00
Volumen del Molde (Vmld)	cm^3	3554.16	3554.16	3554.16
Peso Unitario Suelto (P.U.S.)	gr/cm^3	**1.46**	**1.46**	**1.51**

Peso Unitario Suelto = 1.48 gr/cm3

TABLA A. 10 Ensayo de Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso.

PESO UNITARIO VARILLADO - AGREGADO GRUESO

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de Muestra + Peso de Molde (Pm+mld)	gr	11500.00	11450.00	11500.00
Peso del Molde (Pmld)	gr	5500.00	5500.00	5500.00
Peso de la Muestra (Pm)	gr	6000.00	5950.00	6000.00
Volumen del Molde (Vmld)	cm^3	3554.16	3554.16	3554.16
Peso Unitario Varillado (P.U.V.)	gr/cm^3	**1.69**	**1.67**	**1.69**

Peso Unitario Varillado = 1.68 gr/cm3

TABLA A. 11 Ensayo de Peso Unitario Varillado del Agregado Grueso

ENSAYO DE RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de la Muestra Seca Inicial (Po)	gr	5000.00	5000.00	5000.00
Peso Seco de la Muestra Retenido en Tamiz #12	gr	4190.00	4210.00	4285.00
Desgaste	%	16.20	15.80	14.30

Desgaste = 15.43 %

TABLA A. 12 Ensayo de Abrasión del Agregado Grueso.

PESO ESPECÍFICO - AGREGADO FINO

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso Saturado Superficialmente Seco (Wsss)	gr	500.00	500.00	500.00
Peso de Fiola + Arena (Wfa)	gr	838.00	669.00	777.70
Peso de Fiola + Arena + agua (Wp)	gr	1639.20	972.30	1580.40
Peso de Muestra Seca (Ws)	gr	491.60	490.80	493.40
Peso de la Fiola + Agua (Wa)	gr	1331.10	667.00	1274.30
Peso Especifico Masa (Pem)	gr/cm^3	**2.56**	**2.52**	**2.54**
Factor de Correccion por temperatura		1.0007	1.0006	1.0007
Peso Especifico Masa Corregido (Pem)	gr/cm^3	**2.56**	**2.52**	**2.55**
P.E. Saturado Superficialmente Seco (Pesss)	gr/cm^3	2.61	2.57	2.58
Peso Especifico Aparente (Pea)	gr/cm^3	2.68	2.65	2.63

Peso Especifico = 2.54 gr/cm3

TABLA A. 13 Ensayo de Peso Específico del Agregado Fino.

ABSORCIÓN – AGREGADO FINO

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso Saturado Superficialmente Seco (Wsss)	gr	500.00	500.00	500.00
Peso de Muestra Seca (Ws)	gr	491.60	490.80	493.40
Absorcion	%	**1.68**	**1.84**	**1.32**

Absorción = 0.82 %

TABLA A. 14 Ensayo de Absorción del Agregado Fino.

CONTENIDO DE HUMEDAD - AGREGADO FINO

CANTERA "LA PODEROSA"			
Muestra	Peso Natural de la Muestra (gr)	Peso Seco de la Muestra (gr)	Contenido de Humedad (%)
M - 1	1000.00	996.90	**0.31**
M - 2	1000.00	997.60	**0.24**
M - 3	1000.00	997.40	**0.26**

Contenido de Humedad = 0.27 %

TABLA A. 15 Resultados del ensayo de Contenido de Humedad del Agregado Fino.

PESO UNITARIO SUELTO - AGREGADO FINO

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de Muestra + Peso de Molde (Pm+mld)	gr	8700.00	8650.00	8700.00
Peso del Molde (Pmld)	gr	4300.00	4300.00	4300.00
Peso de la Muestra (Pm)	gr	4400.00	4350.00	4400.00
Volumen del Molde (Vmld)	cm^3	3152.84	3152.84	3152.84
Peso Unitario Suelto (P.U.S.)	gr/cm^3	**1.40**	**1.38**	**1.40**

Peso Unitario Suelto = 1.39 gr/cm3

TABLA A. 16 Resultados del Ensayo de Peso Unitario Suelto del Agregado Fino.

PESO UNITARIO VARILLADO - AGREGADO FINO

CANTERA "LA PODEROSA"				
DESCRIPCION	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de Muestra + Peso de Molde (Pm+mld)	gr	9300.00	9400.00	9350.00
Peso del Molde (Pmld)	gr	4300.00	4300.00	4300.00
Peso de la Muestra (Pm)	gr	5000.00	5100.00	5050.00
Volumen del Molde (Vmld)	cm^3	3152.84	3152.84	3152.84
Peso Unitario Varillado (P.U.V.)	gr/cm^3	**1.59**	**1.62**	**1.60**

Peso Unitario Suelto = 1.60 gr/cm3

TABLA A. 17 Resultados del Ensayo de Peso Unitario Varillado del Agregado Fino.

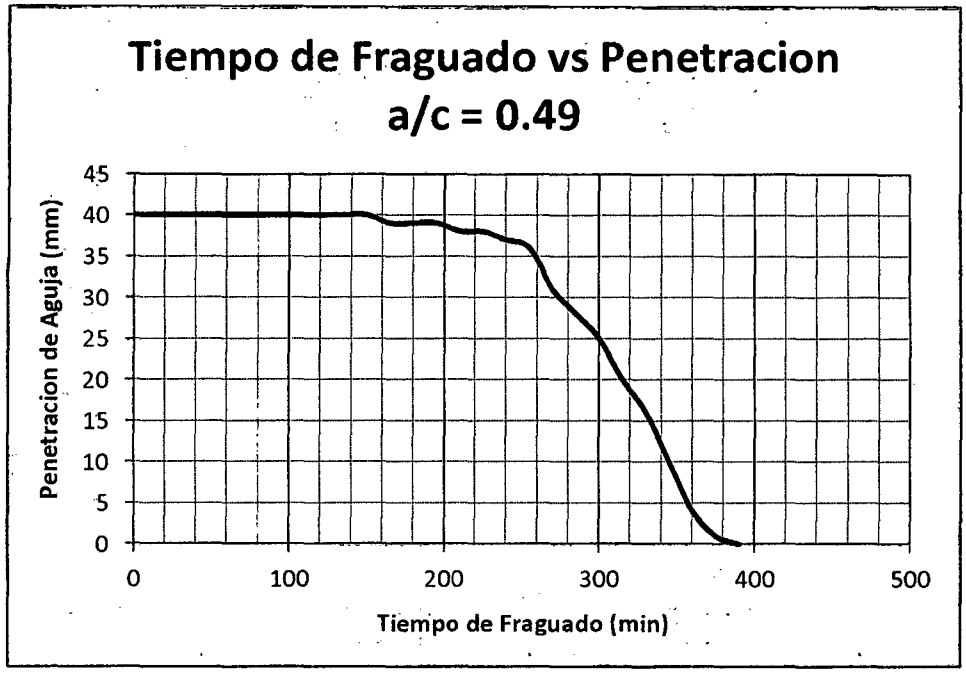
ANEXO B

PROPIEDADES DEL CEMENTO

TIEMPO DEL FRAGUADO DEL CEMENTO

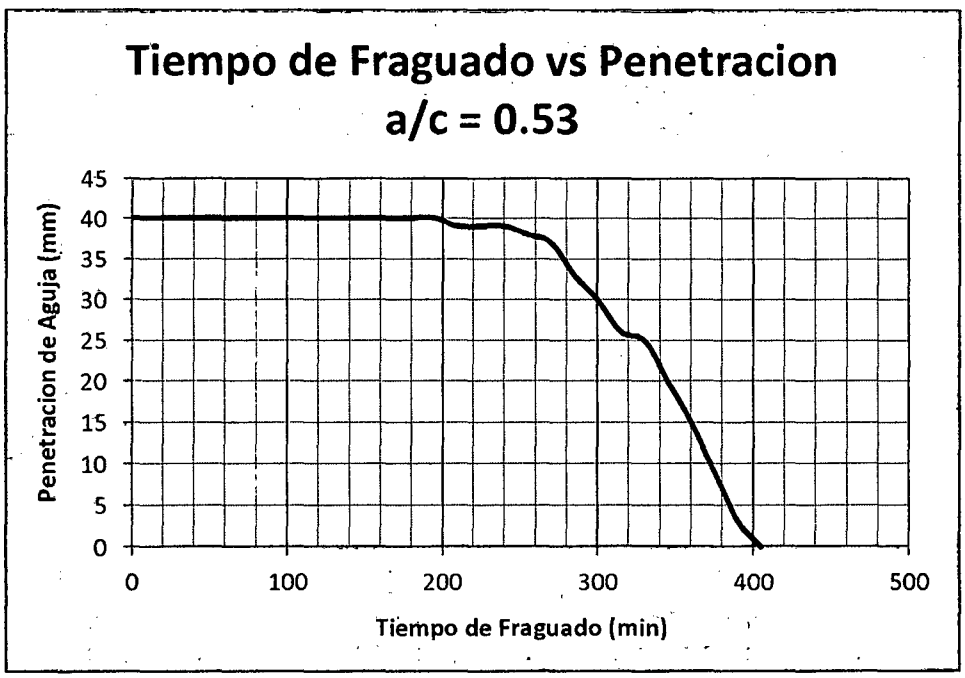
TIEMPO DE FRAGUADO						
Tiempo de Fraguado (min)	PENETRACION DE AGUJA DE VICAT (mm)					
	Relacion agua/cemento					
	0.49	0.53	0.57	0.59	0.63	0.68
0	40	40	40	40	40	40
30	40	40	40	40	40	40
45	40	40	40	40	40	40
60	40	40	40	40	40	40
75	40	40	40	40	40	40
90	40	40	40	40	40	40
105	40	40	40	40	40	40
120	40	40	40	40	40	40
135	40	40	40	40	40	40
150	40	40	40	40	40	40
165	39	40	40	40	40	40
180	39	40	40	40	40	40
195	39	40	40	40	40	40
210	38	39	40	40	40	40
225	38	39	40	40	40	40
240	37	39	40	40	40	40
255	36	38	39	40	40	40
270	31	37	39	40	40	40
285	28	33	38	39	40	40
300	**25**	30	38	39	40	40
315	20	26	36	38	40	40
330	16	**25**	34	36	39	40
345	10	20	30	33	39	40
360	4	15	**25**	30	38	39
375	1	9	16	**25**	36	38
390	0	3	9	18	30	36
405		0	4	6	**24**	33
420			1	1	19	30
435			0	0	8	**25**
450					2	18
465					0	6
480						1
495						0

TABLA B. 1 Resultados del ensayo de Tiempo de Fraguado - Aguja de Vicat.



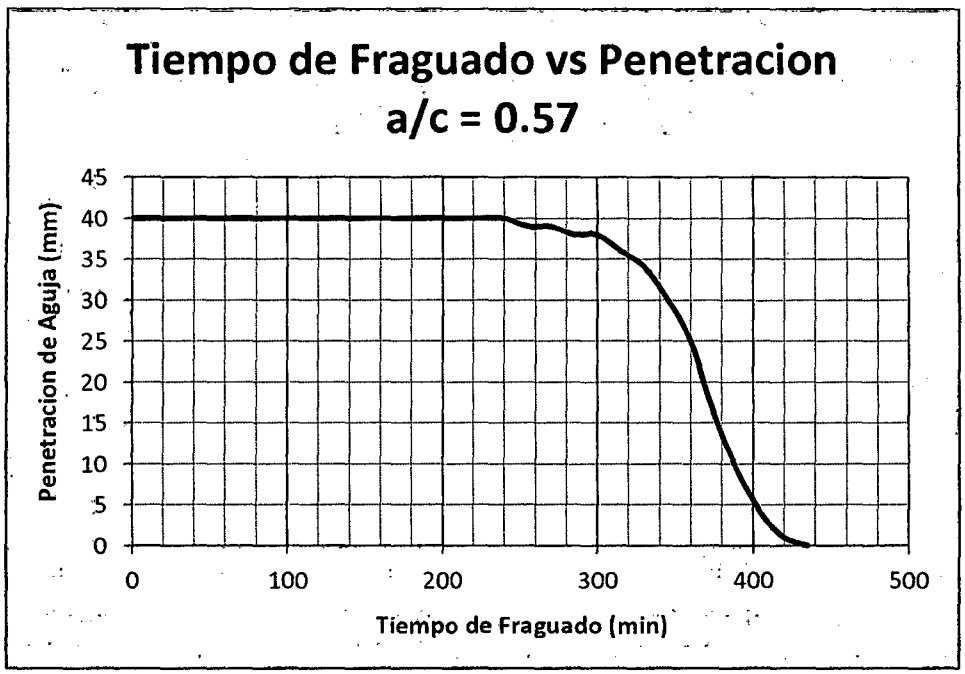
Tiempo de Fraguado del Cemento = 300 min

GRAFICO B. 1 Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.49



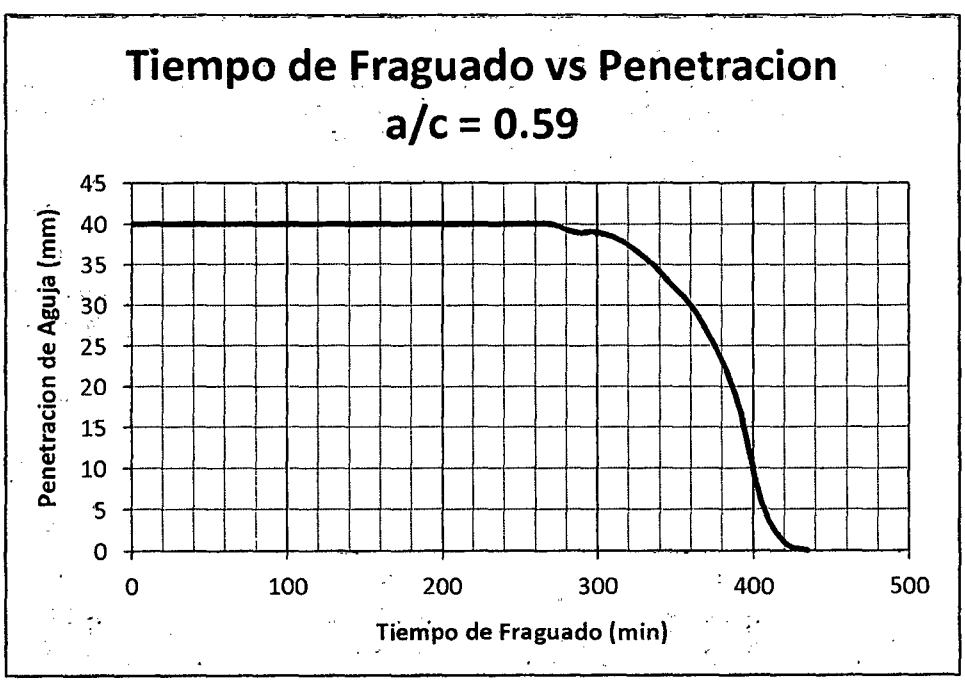
Tiempo de Fraguado del Cemento = 320 min

GRAFICO B. 2 Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.53



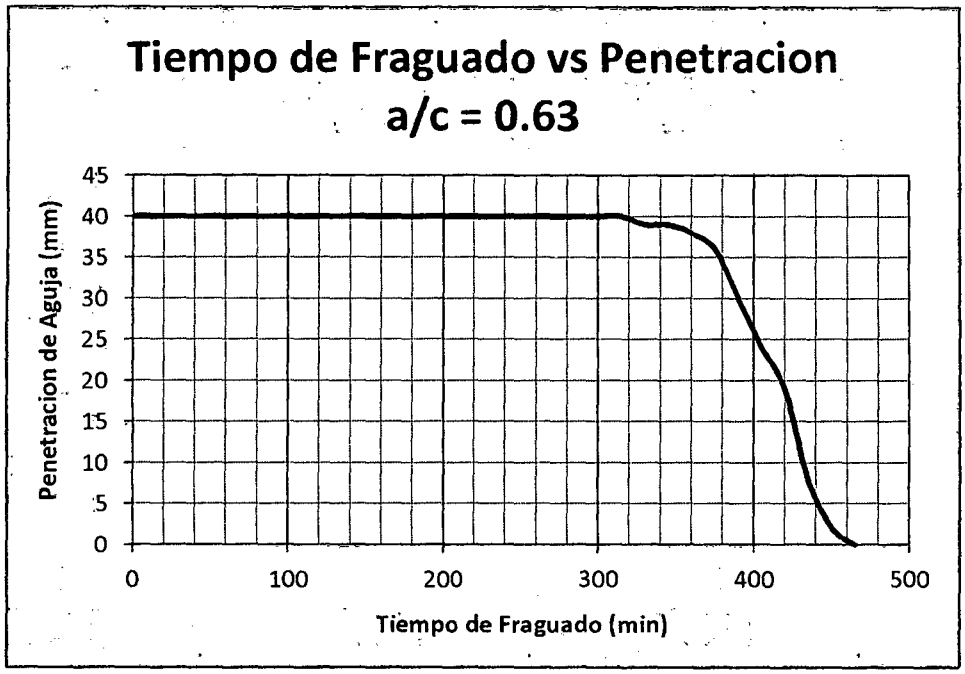
Tiempo de Fraguado del Cemento = 360 min

GRAFICO B. 3 Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.57



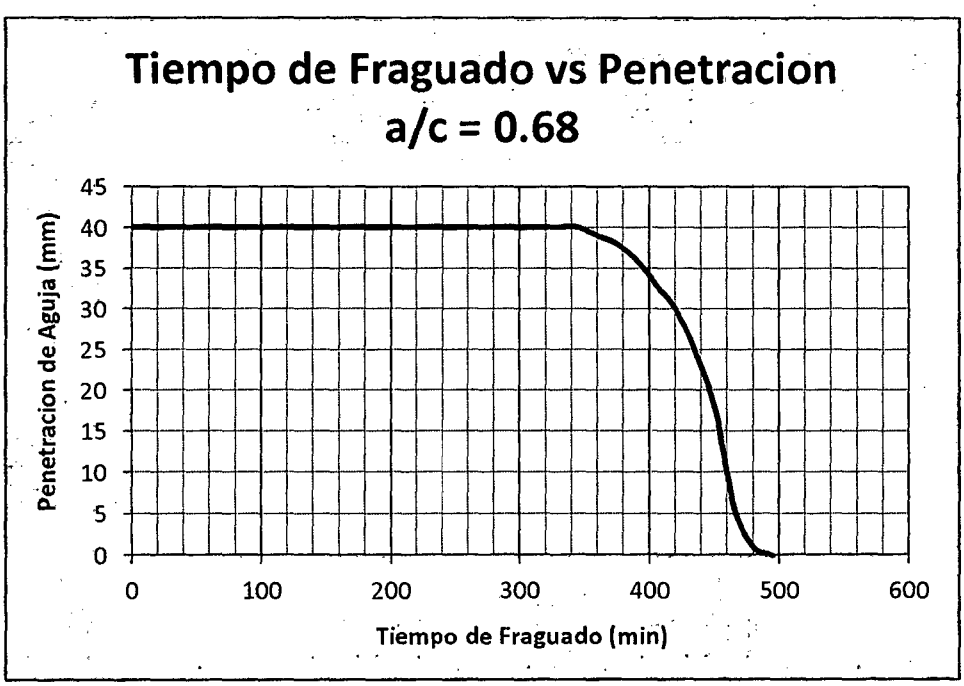
Tiempo de Fraguado del Cemento = 375 min

GRAFICO B. 4 Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.59



Tiempo de Fraguado del Cemento = 400 min

GRAFICO B. 5 Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.63



Tiempo de Fraguado del Cemento = 435 min

GRAFICO B. 6 Tiempo de Fraguado vs Penetración - a/c = 0.68

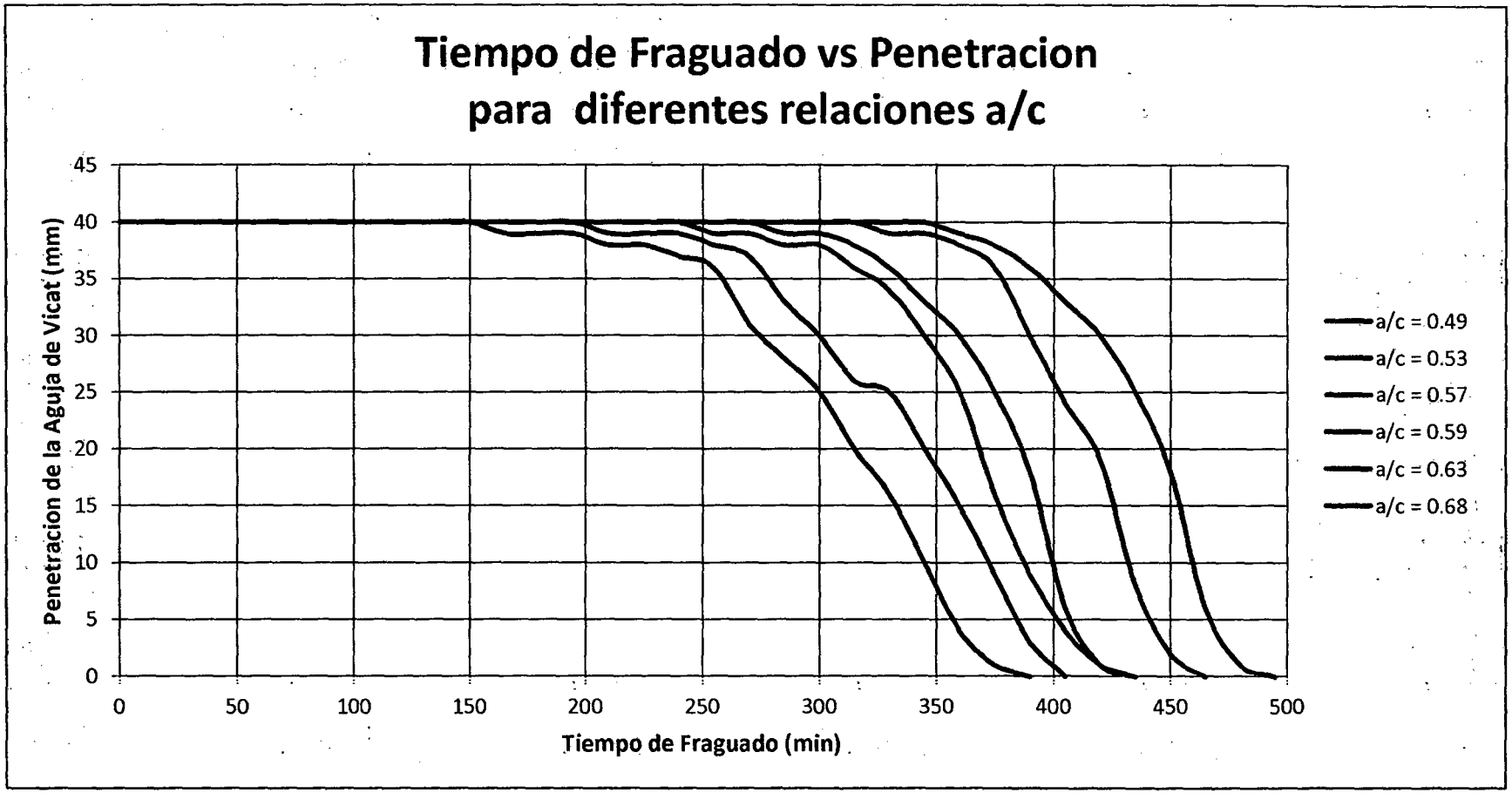


GRAFICO B. 7 Tiempo de Fraguado vs Penetración para diferentes relaciones a/c

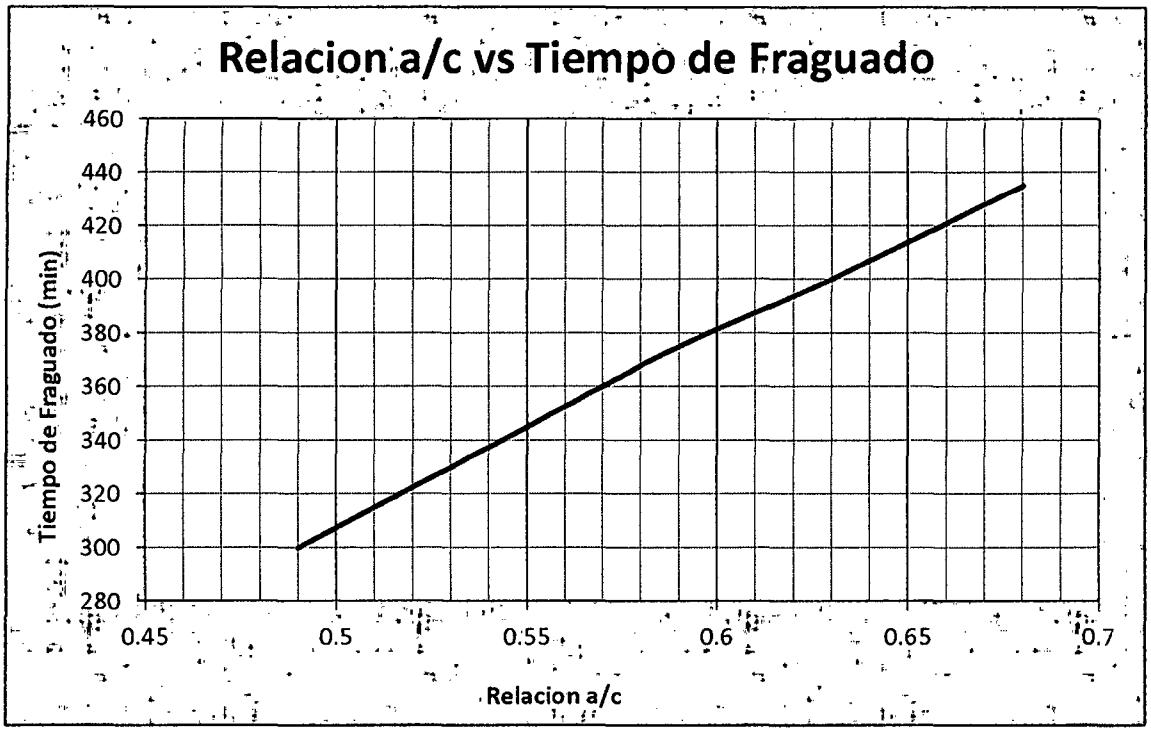


GRAFICO B. 8 Relación a/c vs Tiempo de Fraguado

TIEMPO DE FRAGUADO		
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm2)	RELACION A/C	TIEMPO DE FRAGUADO (min)
210	0.59	372.6
280	0.50	308.9

TABLA B. 2 Tiempo de fraguado para las relaciones a/c correspondientes a los diseños de mezcla de f'c=210kg/cm2 y f'c=280kg/cm2

PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO

METODO DE LE CHATELIER			
Datos	**M-1**	**M-2**	**M-3**
Peso cemento (gr)	63.00	63.10	63.30
Lectura 1	0.50	0.50	0.60
Lectura 2	20.70	20.80	20.90
Vol desplazado (ml)	20.20	20.30	20.30
P.E. (gr/cm3)	**3.12**	**3.11**	**3.12**

Peso Específico del Cemento = 3.12 gr/cm3

TABLA B. 3 Resultados del Ensayo de Peso Específico del Cemento.

ANEXO C

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

ENSAYO DE TRABAJABILIDAD

PROBETAS - F'c = 210 Kg/cm2

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2					
7 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
Cemento (Kg)	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07
A/C inicial	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Slump inicial (pulg)	3.40	3.40	3.50	3.50	3.50
Slump final (pulg)	3.40	2.60	2.50	1.80	0.20
Agua añadida (Lt)	0.00	0.03	0.05	0.09	0.19
Slump corregido (pulg)	3.40	3.40	3.50	3.50	3.50
A/C final	0.59	0.60	0.61	0.63	0.68
f'c prom (kgf/cm2)	201.00	211.93	185.43	177.58	152.13

TABLA C. 1 Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=210kg/cm2 (Edad 7 días)

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2					
14 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
Cemento (Kg)	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07
A/C inicial	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Slump inicial (pulg)	3.40	3.60	3.50	3.50	3.50
Slump final (pulg)	3.40	2.90	2.60	1.70	0.15
Agua añadida (Lt)	0.00	0.03	0.05	0.09	0.20
Slump corregido (pulg)	3.40	3.60	3.40	3.50	3.50
A/C final	0.59	0.60	0.61	0.63	0.68
f'c prom (kgf/cm2)	252.41	256.52	218.70	213.32	177.50

TABLA C. 2 Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=210kg/cm2 (Edad 14 días)

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2					
28 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
Cemento (Kg)	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07
A/C inicial	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Slump inicial (pulg)	3.40	3.80	3.30	3.50	3.50
Slump final (pulg)	3.40	3.20	2.60	1.60	0.15
Agua añadida (Lt)	0.00	0.02	0.04	0.09	0.20
Slump corregido (pulg)	3.40	3.80	3.30	3.50	3.50
A/C final	0.59	0.60	0.61	0.63	0.69
f'c prom (kgf/cm2)	284.50	263.00	249.92	230.13	221.05

TABLA C. 3 Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=210kg/cm2 (Edad 28 días)

PROBETAS - F'c = 280 Kg/cm2

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2					
7 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	1.25	1.24	1.24	1.25	1.23
Cemento (Kg)	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
A/C inicial	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
Slump inicial (pulg)	3.50	3.80	3.25	3.25	3.50
Slump final (pulg)	3.50	2.60	2.30	1.25	0.20
Agua añadida (Lt)	0.00	0.02	0.05	0.10	0.17
Slump corregido (pulg)	3.50	3.80	3.25	3.25	3.50
A/C final	0.49	0.50	0.51	0.53	0.55
f'c prom (kgf/cm2)	252.81	260.98	233.72	178.85	172.15

TABLA C. 4 Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=280kg/cm2 (Edad 7 días)

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2					
14 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	1.25	1.25	1.25	1.26	1.25
Cemento (Kg)	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
A/C inicial	0.49	0.49	0.50	0.50	0.49
Slump inicial (pulg)	3.50	3.80	3.25	3.25	3.50
Slump final (pulg)	3.50	2.70	2.20	1.10	0.15
Agua añadida (Lt)	0.00	0.02	0.04	0.08	0.18
Slump corregido (pulg)	3.50	3.80	3.25	3.25	3.50
A/C final	0.49	0.50	0.51	0.53	0.56
f'c prom (kgf/cm2)	309.50	316.75	294.62	279.26	239.77

TABLA C. 5 Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=280kg/cm2 (Edad 14 días)

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2					
28 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	1.24	1.27	1.27	1.25	1.28
Cemento (Kg)	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
A/C inicial	0.49	0.50	0.50	0.49	0.50
Slump inicial (pulg)	3.50	3.80	3.25	3.25	3.50
Slump final (pulg)	3.50	2.80	2.20	0.90	0.20
Agua añadida (Lt)	0.00	0.02	0.04	0.08	0.18
Slump corregido (pulg)	3.50	3.80	3.25	3.25	3.50
A/C final	0.49	0.51	0.52	0.53	0.57
f'c prom (kgf/cm2)	359.62	356.93	334.73	303.18	279.95

TABLA C. 6 Resultados del ensayo de Trabajabilidad en probetas f'c=280kg/cm2 (Edad 28 días)

VIGAS - F'c = 210 Kg/cm2

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2					
7 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Cemento (Kg)	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80
A/C inicial	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Slump inicial (pulg)	3.40	3.40	3.50	3.40	3.50
Slump final (pulg)	3.40	2.80	2.00	1.50	1.75
Agua añadida (Lt)	0.00	0.08	0.17	0.28	0.38
Slump corregido (pulg)	3.40	3.40	3.50	3.40	3.50
A/C final	0.59	0.60	0.61	0.63	0.64
f'c prom (kgf/cm2)	34.78	37.16	34.38	30.60	28.58

TABLA C. 7 Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=210kg/cm2 (Edad 7 días)

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2					
14 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Cemento (Kg)	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80
A/C inicial	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Slump inicial (pulg)	3.50	3.80	3.50	3.60	3.50
Slump final (pulg)	3.50	2.25	1.00	2.60	1.20
Agua añadida (Lt)	0.00	0.12	0.21	0.31	0.45
Slump corregido (pulg)	3.50	3.80	3.50	3.60	3.50
A/C final	0.59	0.61	0.62	0.63	0.65
f'c prom (kgf/cm2)	39.42	42.61	37.03	33.55	30.86

TABLA C. 8 Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=210kg/cm2 (Edad 14 días)

CONCRETO f'c = 210 kgf/cm2					
28 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Cemento (Kg)	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80
A/C inicial	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Slump inicial (pulg)	3.50	3.50	3.60	3.60	3.60
Slump final (pulg)	3.50	2.25	1.60	1.85	1.10
Agua añadida (Lt)	0.00	0.15	0.24	0.30	0.40
Slump corregido (pulg)	3.50	3.50	3.60	3.60	3.60
A/C final	0.59	0.61	0.62	0.63	0.65
f'c prom (kgf/cm2)	43.87	44.42	41.78	38.74	35.52

TABLA C. 9 Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=210kg/cm2 (Edad 28 días)

VIGAS - F'c = 280 Kg/cm2

CONCRETO f'c = 280 kgf/cm2					
7 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	4.14	4.15	4.15	4.14	4.15
Cemento (Kg)	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80
A/C inicial	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
Slump inicial (pulg)	3.50	3.50	3.50	3.50	3.40
Slump final (pulg)	3.50	2.75	2.25	1.90	0.30
Agua añadida (Lt)	0.00	0.07	0.15	0.18	0.48
Slump corregido (pulg)	3.50	3.50	3.50	3.50	3.40
A/C final	0.61	0.62	0.63	0.64	0.68
f'c prom (kgf/cm2)	37.03	39.56	35.03	32.58	31.47

TABLA C. 10 Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=280kg/cm2 (Edad 7 días)

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2					
14 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	4.15	4.20	4.15	4.14	4.15
Cemento (Kg)	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80
A/C inicial	0.61	0.62	0.61	0.61	0.61
Slump inicial (pulg)	3.50	3.25	3.50	3.50	3.60
Slump final (pulg)	3.50	1.40	2.20	1.50	0.50
Agua añadida (Lt)	0.00	0.08	0.15	0.30	0.27
Slump corregido (pulg)	3.50	3.25	3.50	3.50	3.60
A/C final	0.61	0.63	0.63	0.65	0.65
f'c prom (kgf/cm2)	42.71	43.39	37.80	36.49	34.68

TABLA C. 11 Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=280kg/cm2 (Edad 14 días)

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2					
28 Dias					
Fraguado Inicial	0 Horas	1 Hora	2 Horas	3 Horas	4 Horas
Agua Inicial (Lt)	4.17	4.16	4.15	4.16	4.16
Cemento (Kg)	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80
A/C inicial	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
Slump inicial (pulg)	0.40	3.25	3.80	3.60	3.60
Slump final (pulg)	3.40	1.40	2.40	0.80	0.50
Agua añadida (Lt)	0.00	0.08	0.20	0.38	0.27
Slump corregido (pulg)	3.40	3.25	3.80	3.60	3.60
A/C final	0.61	0.62	0.64	0.67	0.65
f'c prom (kgf/cm2)	48.52	49.09	43.49	41.54	40.10

TABLA C. 12 Resultados del ensayo de Trabajabilidad en vigas f'c=280kg/cm2 (Edad 28 días)

ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO

PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO		
Datos	**f'c=210kg/cm3**	**f'c=280kg/cm3**
Peso del concreto + molde (gr)	11800.00	11850.00
Peso del molde (gr)	4300.00	4300.00
Volumen del molde (cm3)	3152.84	3152.84
P.U. (gr/cm3)	**2.38**	**2.39**

TABLA C. 13 Resultados del ensayo de Peso Unitario del concreto fresco.

ANEXO D

RESISTENCIA A LA COMPRESION

RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE ENSAYO A COMPRESION

PROBETAS DE CONCRETO F'c = 210 kg/cm2 – 0 HORAS

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2														
Fraguado Inicial 0 horas														
EDAD	CODIGO	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Dprom (cm)	Area (cm2)	Carga (lbs)	Carga (kgf)	f'c (kgf/cm2)	f'c promedio	DESVIACION ESTANDAR			F`c ajustado (kg/cm2)
											x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	P0-07-01	15.47	15.41	15.41	**15.43**	186.99	84500.00	38328.95	204.98	202.40	2.57	6.63	1.40	201.00
	P0-07-02	15.40	15.41	15.34	**15.38**	185.86	82500.00	37421.75	201.34		-1.06	1.13		
	P0-07-03	15.42	15.53	15.22	**15.39**	186.02	82500.00	37421.75	201.17		-1.24	1.53		
	P0-07-04	15.50	15.30	15.42	**15.41**	186.43	82500.00	37421.75	200.73		-1.67	2.79		
	P0-07-05	15.33	15.33	15.35	**15.34**	184.74	83000.00	37648.55	203.80		1.39	1.94		
14 Dias	P0-14-01	15.28	15.27	15.30	**15.28**	183.45	102500.00	46493.70	253.44	254.16	-0.72	0.52	1.75	252.41
	P0-14-02	15.42	15.39	15.35	**15.39**	185.94	103000.00	46720.49	251.26		-2.89	8.37		
	P0-14-03	15.39	15.35	15.41	**15.38**	185.86	104000.00	47174.09	253.81		-0.34	0.12		
	P0-14-04	14.87	14.85	14.94	**14.89**	174.05	98500.00	44679.31	256.70		2.54	6.46		
	P0-14-05	15.29	15.27	15.32	**15.29**	183.69	103500.00	46947.29	255.57		1.42	2.01		
30 Dias	P0-28-01	15.35	15.24	15.50	**15.36**	185.38	118500.00	53751.25	289.95	293.26	-3.31	10.94	1.59	291.67
	P0-28-02	15.50	15.44	15.45	**15.46**	187.80	122000.00	55338.84	294.67		1.41	1.98		
	P0-28-03	15.45	15.58	15.52	**15.52**	189.10	122500.00	55565.64	293.85		0.59	0.34		
	P0-28-04	15.34	15.32	15.48	**15.38**	185.78	120000.00	54431.64	292.99		-0.27	0.07		
	P0-28-05	15.37	15.50	15.22	**15.36**	185.38	120500.00	54658.44	294.85		1.59	2.52		

TABLA D. 1 Resultado de Ensayo a la Compresion F'c = 210 kg/cm2 – 0 HORAS

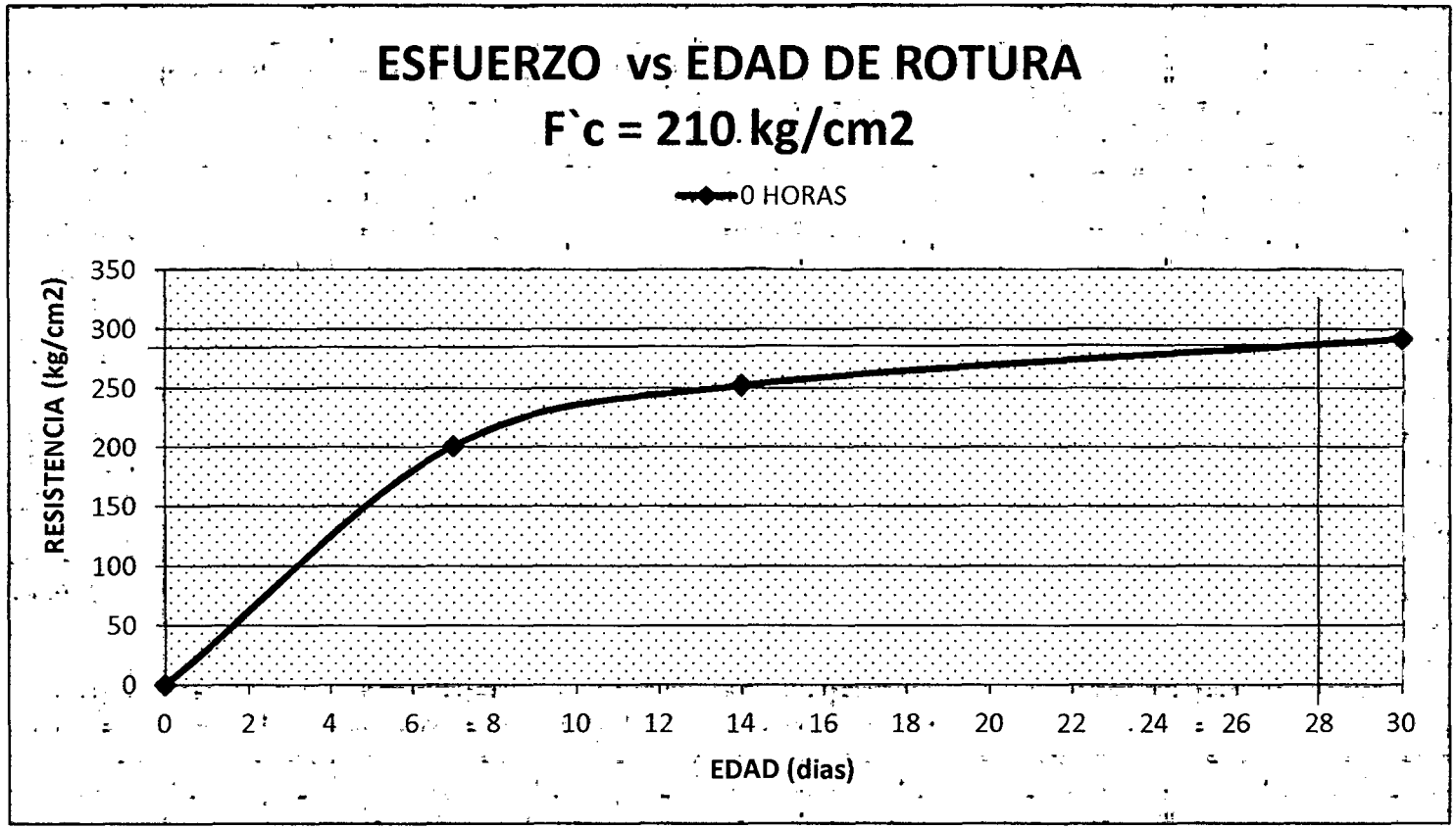


GRAFICO D. 1 Curva Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=210kg/cm2 - 0 HORAS

PROBETAS DE CONCRETO F'c = 210 kg/cm2 – 1 HORA

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2														
Fraguado Inicial 1 hora														
EDAD	CODIGO	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Dprom (cm)	Area (cm2)	Carga (lbs)	Carga (kgf)	f'c (kgf/cm2)	f'c promedio	DESVIACION ESTANDAR			F`c ajustado (kg/cm2)
											x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	P1-07-01	15.47	15.49	15.49	15.48	188.29	89500.00	40596.93	215.61	213.54	2.07	4.28	1.62	211.93
	P1-07-02	15.36	15.35	15.39	15.37	185.46	86500.00	39236.14	211.56		-1.98	3.93		
	P1-07-03	15.22	15.35	15.37	15.31	184.17	86000.00	39009.34	211.81		-1.74	3.02		
	P1-07-04	15.41	15.49	15.41	15.44	187.15	89000.00	40370.14	215.71		2.16	4.68		
	P1-07-05	15.55	15.54	15.51	15.53	189.50	89000.00	40370.14	213.03		-0.51	0.26		
14 Dias	P1-14-01	15.46	15.50	15.40	15.45	187.56	106500.00	48308.08	257.56	257.66	-0.09	0.01	1.13	256.52
	P1-14-02	15.45	15.46	15.39	15.43	187.07	105500.00	47854.49	255.81		-1.85	3.42		
	P1-14-03	15.05	15.10	14.99	15.05	177.82	101500.00	46040.10	258.92		1.26	1.60		
	P1-14-04	15.25	15.28	15.20	15.24	182.49	104500.00	47400.89	259.74		2.08	4.34		
	P1-14-05	15.32	15.24	15.37	15.31	184.09	104000.00	47174.09	256.25		-1.41	1.98		
30 Dias	P1-28-01	15.40	15.35	15.38	15.38	185.70	109000.00	49442.08	266.24	266.37	-0.13	0.02	1.33	265.04
	P1-28-02	15.47	15.45	15.47	15.46	187.80	110000.00	49895.67	265.68		-0.69	0.47		
	P1-28-03	15.33	15.24	15.24	15.27	183.13	108300.00	49124.56	268.24		1.87	3.51		
	P1-28-04	15.51	15.52	15.53	15.52	189.18	110000.00	49895.67	263.75		-2.62	6.88		
	P1-28-05	15.45	15.44	15.20	15.36	185.38	109500.00	49668.87	267.93		1.56	2.44		

TABLA D. 2 Resultado de Ensayo a la Compresion F'c = 210 kg/cm2 – 1 HORA

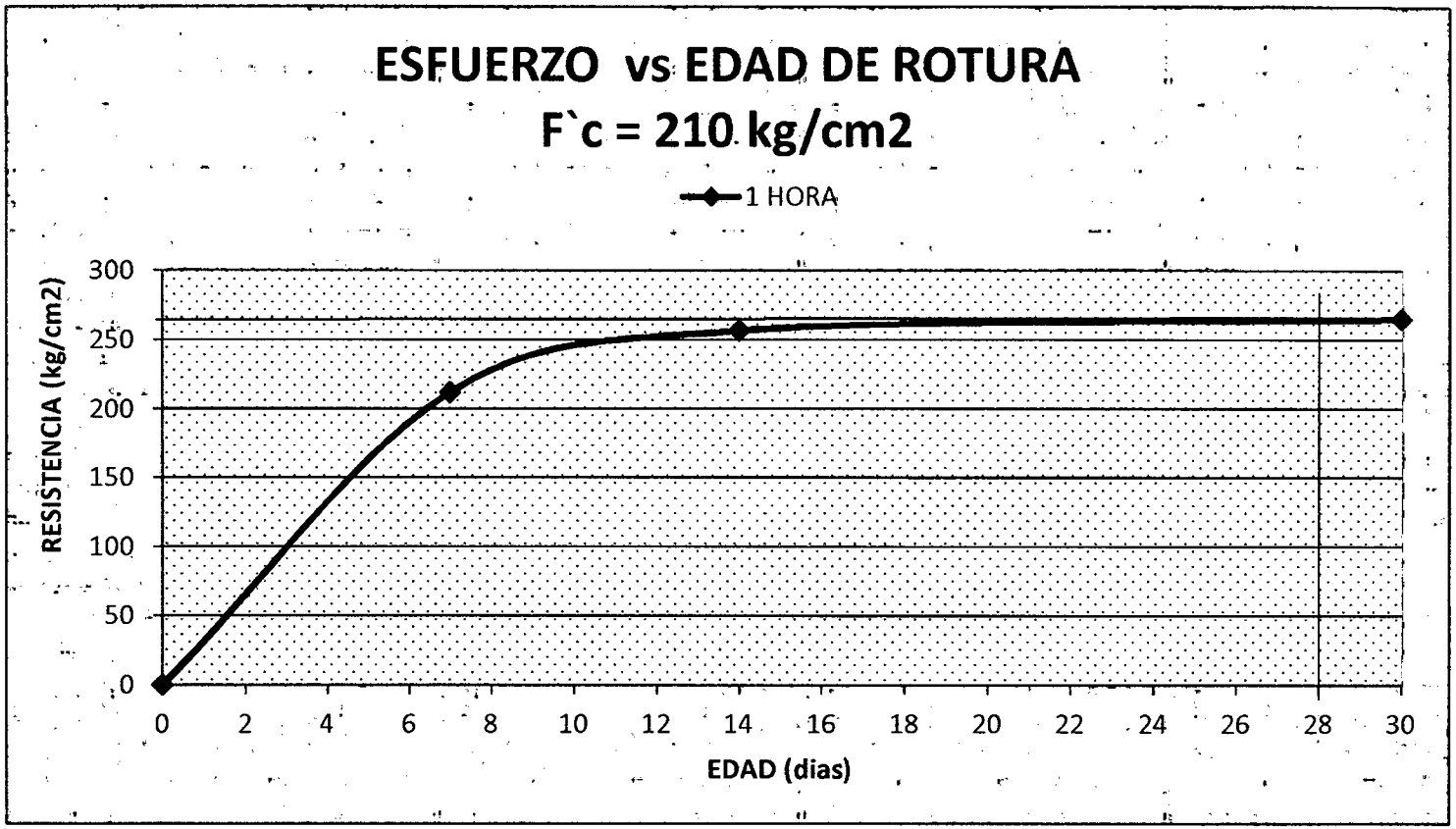


GRAFICO D. 2 Curva Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=210kg/cm2 - 1 HORA

PROBETAS DE CONCRETO F'c = 210 kg/cm2 – 2 HORAS

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2														
Fraguado Inicial 2 horas														
EDAD	CODIGO	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Dprom (cm)	Area (cm2)	Carga (lbs)	Carga (kgf)	f'c (kgf/cm2)	f'c promedio	DESVIACION ESTANDAR			F`c ajustado (kg/cm2)
											x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	P2-07-01	15.33	15.40	15.21	15.31	184.17	76000.00	34473.37	187.18	187.48	-0.30	0.09	2.05	185.43
	P2-07-02	15.24	15.24	15.30	15.26	182.89	76000.00	34473.37	188.49		1.01	1.02		
	P2-07-03	15.32	15.33	15.21	15.29	183.53	77000.00	34926.97	190.30		2.82	7.97		
	P2-07-04	15.50	15.50	15.67	15.56	190.07	78500.00	35607.37	187.33		-0.15	0.02		
	P2-07-05	15.40	15.50	15.27	15.39	186.02	75500.00	34246.58	184.10		-3.38	11.44		
14 Dias	P2-14-01	15.42	15.36	15.35	15.38	185.70	89500.00	40596.93	218.61	220.22	-1.60	2.57	1.51	218.70
	P2-14-02	15.50	15.47	15.51	15.49	188.53	90500.00	41050.53	217.74		-2.48	6.13		
	P2-14-03	15.22	15.23	15.19	15.21	181.78	88500.00	40143.34	220.84		0.62	0.39		
	P2-14-04	15.25	15.27	15.28	15.27	183.05	89500.00	40596.93	221.78		1.56	2.43		
	P2-14-05	15.33	15.34	15.35	15.34	184.82	90500.00	41050.53	222.11		1.90	3.60		
28 Dias	P2-28-01	15.53	15.48	15.5	15.50	188.77	104500.00	47400.89	251.10	255.62	-4.52	20.39	5.69	249.92
	P2-28-02	15.28	15.29	15.3	15.29	183.61	104500.00	47400.89	258.16		2.54	6.45		
	P2-28-03	15.32	15.27	15.31	15.30	183.85	105000.00	47627.69	259.05		3.44	11.81		
	P2-28-04	15.43	15.44	15.45	15.44	187.23	104000.00	47174.09	251.95		-3.66	13.42		
	P2-28-05	15.31	15.32	15.27	15.30	183.85	104500.00	47400.89	257.82		2.20	4.85		

TABLA D. 3 Resultado de Ensayo a la Compresion F'c = 210 kg/cm2 – 2 HORAS

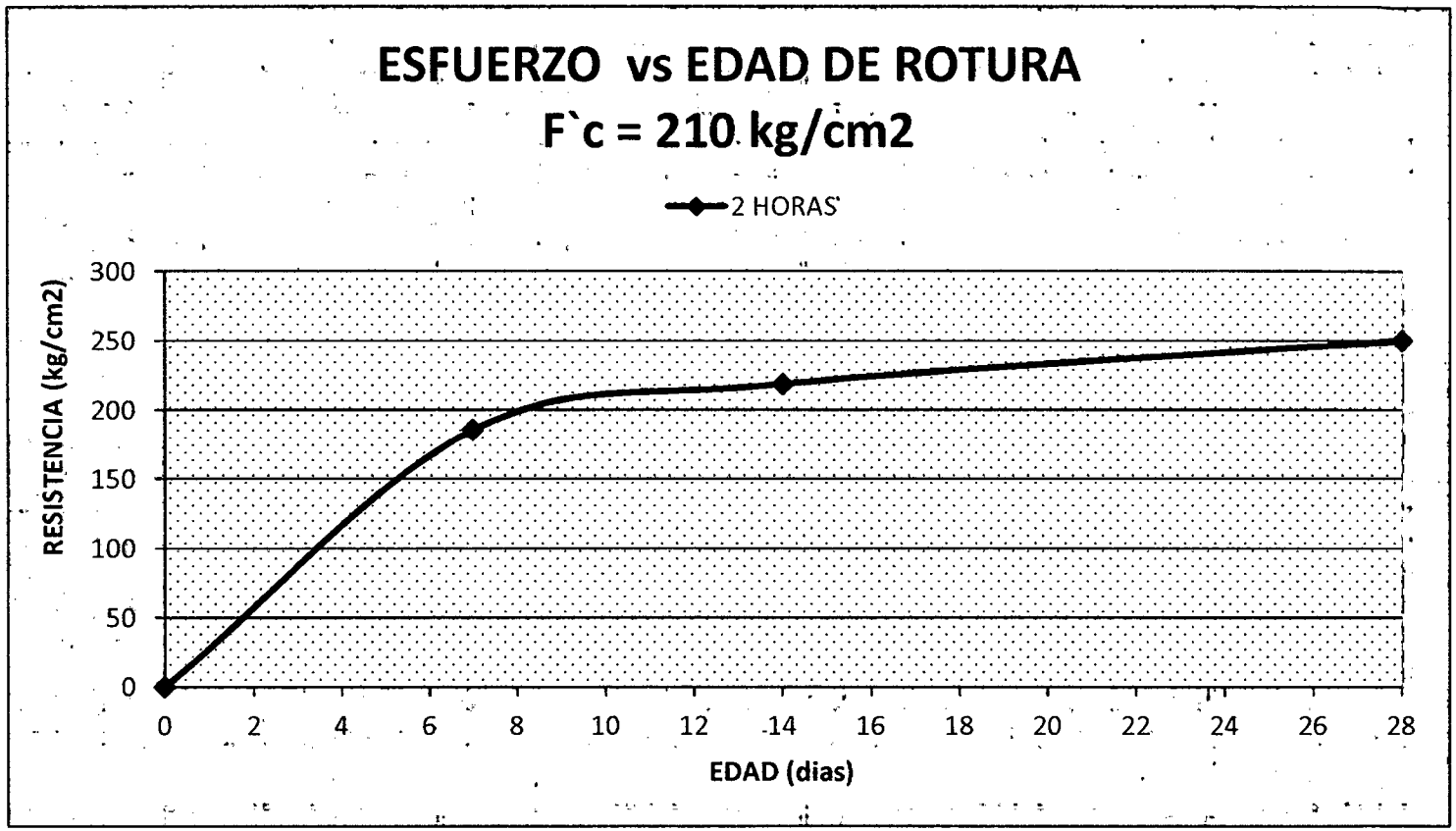


GRAFICO D. 3 Curva Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=210kg/cm2- 2 HORAS

PROBETAS DE CONCRETO F'c = 210 kg/cm2 – 3 HORAS

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2														
Fraguado Inicial 3 horas														
EDAD	CODIGO	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Dprom (cm)	Area (cm2)	Carga (lbs)	Carga (kgf)	f'c (kgf/cm2)	f'c promedio	DESVIACION ESTANDAR			F`c ajustado (kg/cm2)
											x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	P3-07-01	15.35	15.37	15.34	15.35	185.14	72000.00	32658.99	176.40	178.04	-1.63	2.67	0.46	177.58
	P3-07-02	15.41	15.42	15.36	15.40	186.18	73000.00	33112.58	177.85		-0.19	0.04		
	P3-07-03	15.33	15.34	15.36	15.34	184.90	73000.00	33112.58	179.09		1.05	1.10		
	P3-07-04	15.38	15.33	15.31	15.34	184.82	72500.00	32885.78	177.94		-0.10	0.01		
	P3-07-05	15.41	15.37	15.43	15.40	186.35	73500.00	33339.38	178.91		0.87	0.76		
14 Dias	P3-14-01	15.33	15.35	15.36	15.35	184.98	87000.00	39462.94	213.34	213.80	-0.46	0.21	0.48	213.32
	P3-14-02	15.42	15.40	15.46	15.43	186.91	88500.00	40143.34	214.77		0.98	0.95		
	P3-14-03	15.34	15.35	15.38	15.36	185.22	87000.00	39462.94	213.06		-0.73	0.54		
	P3-14-04	15.35	15.36	15.27	15.33	184.50	86500.00	39236.14	212.67		-1.13	1.27		
	P3-14-05	15.33	15.37	15.41	15.37	185.54	88000.00	39916.54	215.14		1.34	1.80		
28 Dias	P3-28-01	15.34	15.29	15.45	15.36	185.30	93500.00	42411.32	228.88	231.82	-2.94	8.67	1.69	230.13
	P3-28-02	15.43	15.45	15.51	15.46	187.80	95500.00	43318.52	230.66		-1.16	1.35		
	P3-28-03	15.45	15.47	15.51	15.48	188.12	97000.00	43998.91	233.88		2.06	4.23		
	P3-28-04	15.27	15.28	15.31	15.29	183.53	94000.00	42638.12	232.32		0.49	0.24		
	P3-28-05	15.42	15.45	15.49	15.45	187.56	96500.00	43772.11	233.38		1.56	2.42		

TABLA D. 4 Resultado de Ensayo a la Compresion F'c = 210 kg/cm2 – 3 HORAS

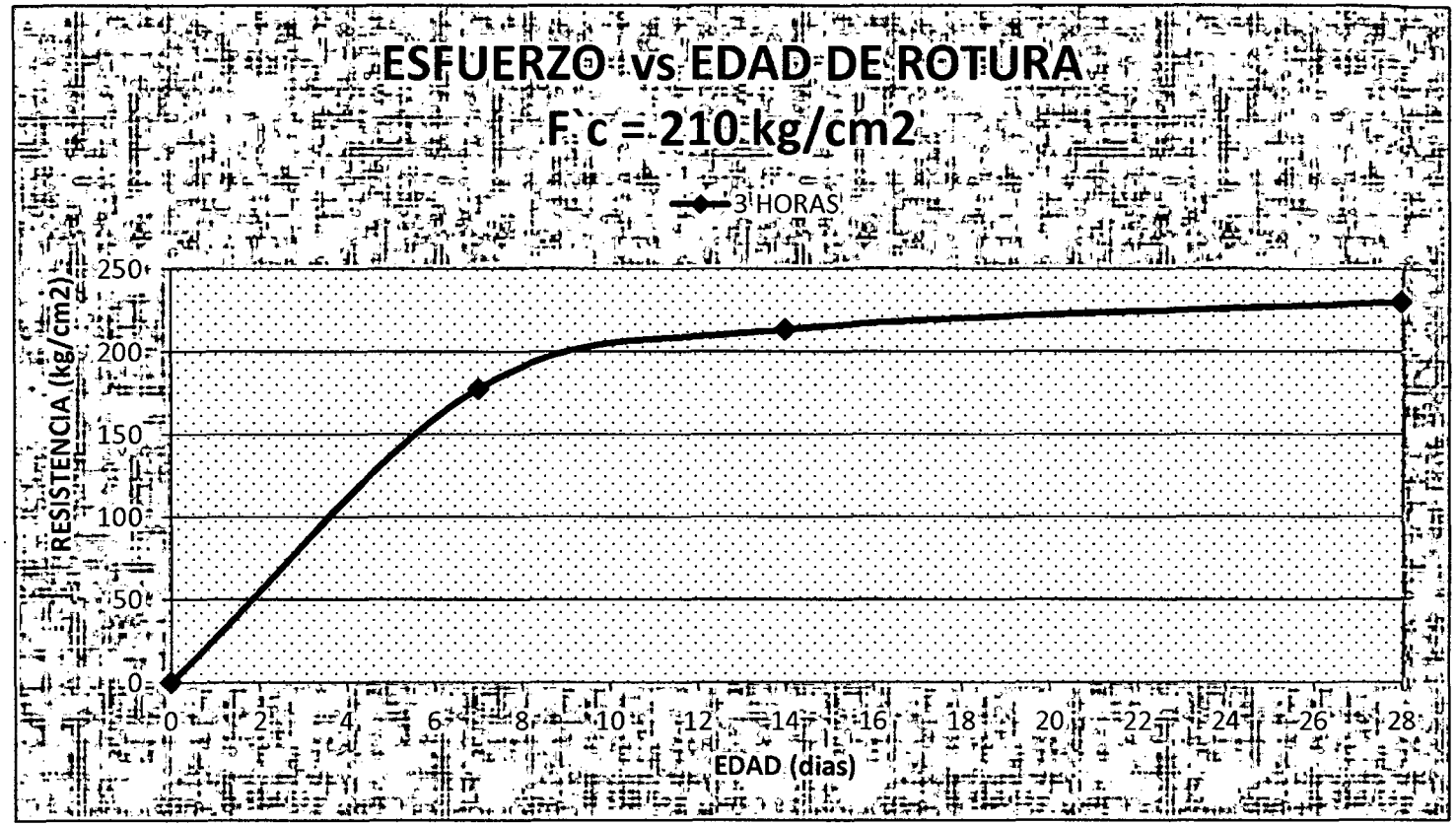


GRAFICO D. 4 Curva Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=210kg/cm2 - 3 HORAS

PROBETAS DE CONCRETO F'c = 210 kg/cm2 – 4 HORAS

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2														
Fraguado Inicial 4 horas														
EDAD	CODIGO	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Dprom (cm)	Area (cm2)	Carga (lbs)	Carga (kgf)	f'c (kgf/cm2)	f'c promedio	DESVIACION ESTANDAR			F`c ajustado (kg/cm2)
											x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	P4-07-01	15.45	15.51	15.30	15.42	186.75	62500.00	28349.81	151.81	152.71	-0.90	0.81	0.58	152.13
	P4-07-02	15.39	15.44	15.47	15.43	187.07	63500.00	28803.41	153.97		1.26	1.59		
	P4-07-03	15.50	15.51	15.47	15.49	188.53	64000.00	29030.21	153.98		1.28	1.63		
	P4-07-04	15.46	15.35	15.37	15.39	186.10	62500.00	28349.81	152.33		-0.37	0.14		
	P4-07-05	15.34	15.37	15.42	15.38	185.70	62000.00	28123.02	151.44		-1.26	1.60		
18 Dias	P4-14-01	15.27	15.29	15.30	15.29	183.53	76000.00	34473.37	187.83	185.51	2.32	5.38	1.67	183.84
	P4-14-02	15.44	15.47	15.50	15.47	187.96	76000.00	34473.37	183.41		-2.11	4.44		
	P4-14-03	15.22	15.30	15.40	15.31	184.01	74500.00	33792.98	183.64		-1.87	3.49		
	P4-14-04	15.41	15.45	15.46	15.44	187.23	76500.00	34700.17	185.33		-0.18	0.03		
	P4-14-05	15.38	15.44	15.40	15.41	186.43	77000.00	34926.97	187.35		1.84	3.38		
28 Dias	P4-28-01	15.48	15.46	15.45	15.46	187.80	91000.00	41277.33	219.79	222.82	-3.03	9.15	1.77	221.05
	P4-28-02	15.43	15.41	15.45	15.43	186.99	92000.00	41730.93	223.17		0.35	0.12		
	P4-28-03	15.41	15.36	15.37	15.38	185.78	91000.00	41277.33	222.18		-0.64	0.41		
	P4-28-04	15.17	15.18	15.16	15.17	180.74	89000.00	40370.14	223.36		0.54	0.29		
	P4-28-05	15.24	15.27	15.28	15.26	182.97	91000.00	41277.33	225.59		2.77	7.69		

TABLA D. 5 Resultado de Ensayo a la Compresion F'c = 210 kg/cm2 – 4 HORAS

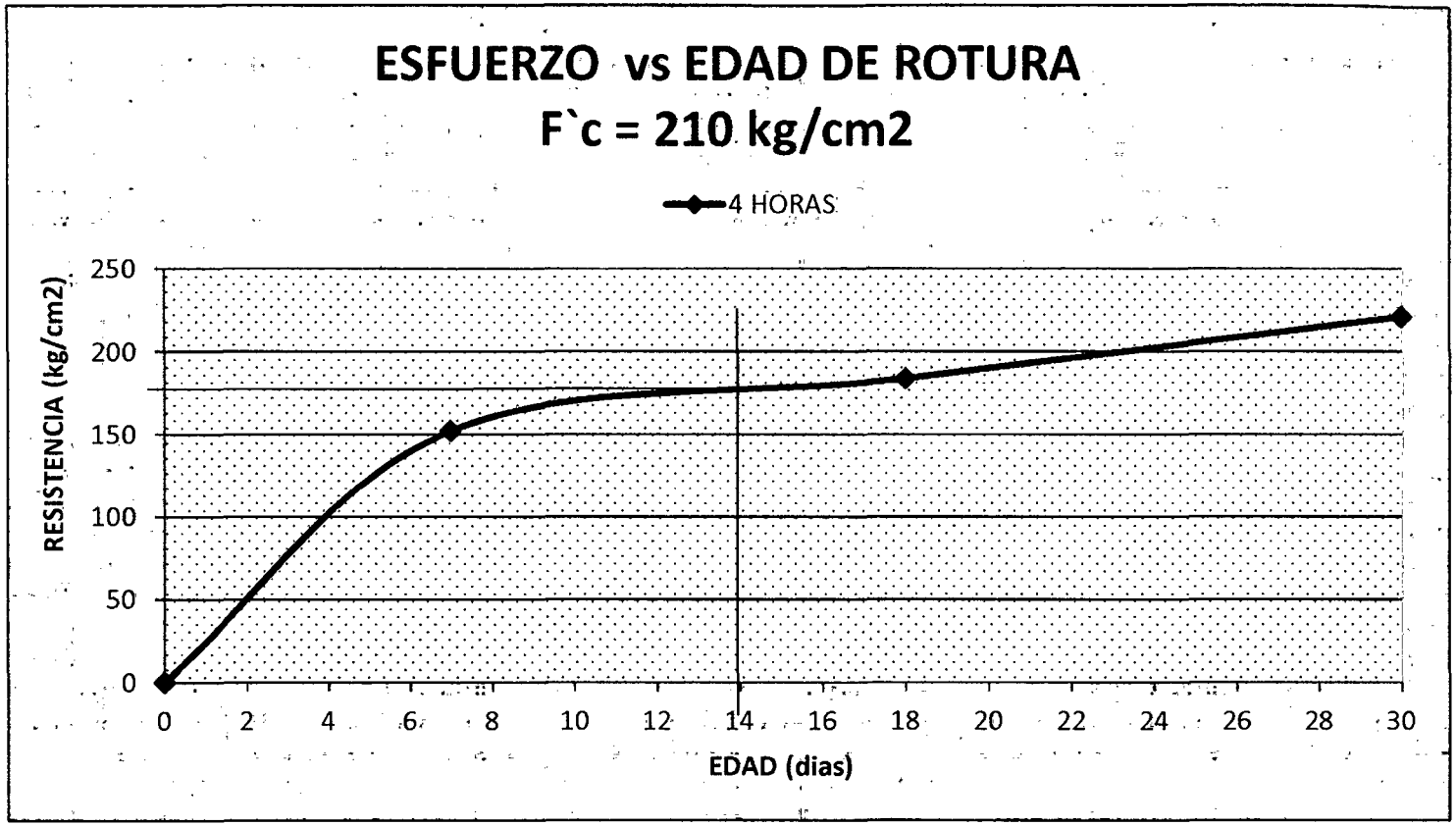


GRAFICO D. 5 Curva Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=210kg/cm2 - 4 HORAS

PROBETAS DE CONCRETO F'c = 280 kg/cm2 – 0 HORAS

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2														
Fraguado Inicial 0 horas														
EDAD	CODIGO	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Dprom (cm)	Area (cm2)	Carga (lbs)	Carga (kgf)	f'c (kgf/cm2)	f'c promedio	DESVIACION ESTANDAR			F't ajustado (kg/cm2)
											x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	P0-07-01	15.36	15.39	15.39	15.38	185.78	103500.00	46947.29	252.70	254.22	-1.52	2.30	1.41	252.81
	P0-07-02	15.44	15.48	15.27	15.40	186.18	104000.00	47174.09	253.37		-0.84	0.71		
	P0-07-03	15.24	15.34	15.30	15.29	183.69	104000.00	47174.09	256.81		2.59	6.72		
	P0-07-04	15.41	15.52	15.55	15.49	188.53	105000.00	47627.69	252.63		-1.59	2.53		
	P0-07-05	15.28	15.30	15.30	15.29	183.69	103500.00	46947.29	255.57		1.36	1.84		
17 Dias	P0-14-01	15.32	15.29	15.34	15.32	184.26	129500.00	58740.81	318.80	321.32	-2.52	6.34	1.70	319.62
	P0-14-02	15.31	15.27	15.33	15.30	183.93	131000.00	59421.21	323.06		1.74	3.02		
	P0-14-03	15.30	15.25	15.28	15.28	183.29	130500.00	59194.41	322.95		1.63	2.65		
	P0-14-04	15.26	15.24	15.28	15.26	182.89	130000.00	58967.61	322.41		1.09	1.20		
	P0-14-05	15.24	15.28	15.30	15.27	183.21	129000.00	58514.02	319.38		-1.94	3.78		
28 Dias	P0-28-01	15.45	15.51	15.51	15.49	188.45	149500.00	67812.76	359.85	360.69	-0.85	0.72	1.07	359.62
	P0-28-02	15.41	15.38	15.45	15.41	186.59	148800.00	67495.24	361.73		1.04	1.08		
	P0-28-03	15.40	15.50	15.38	15.43	186.91	148000.00	67132.36	359.17		-1.53	2.33		
	P0-28-04	15.52	15.50	15.43	15.48	188.29	149300.00	67722.04	359.67		-1.02	1.04		
	P0-28-05	15.10	15.35	15.16	15.20	181.54	145300.00	65907.65	363.05		2.36	5.55		

TABLA D. 6 Resultado de Ensayo a la Compresion F'c = 280 kg/cm2 – 0 HORAS

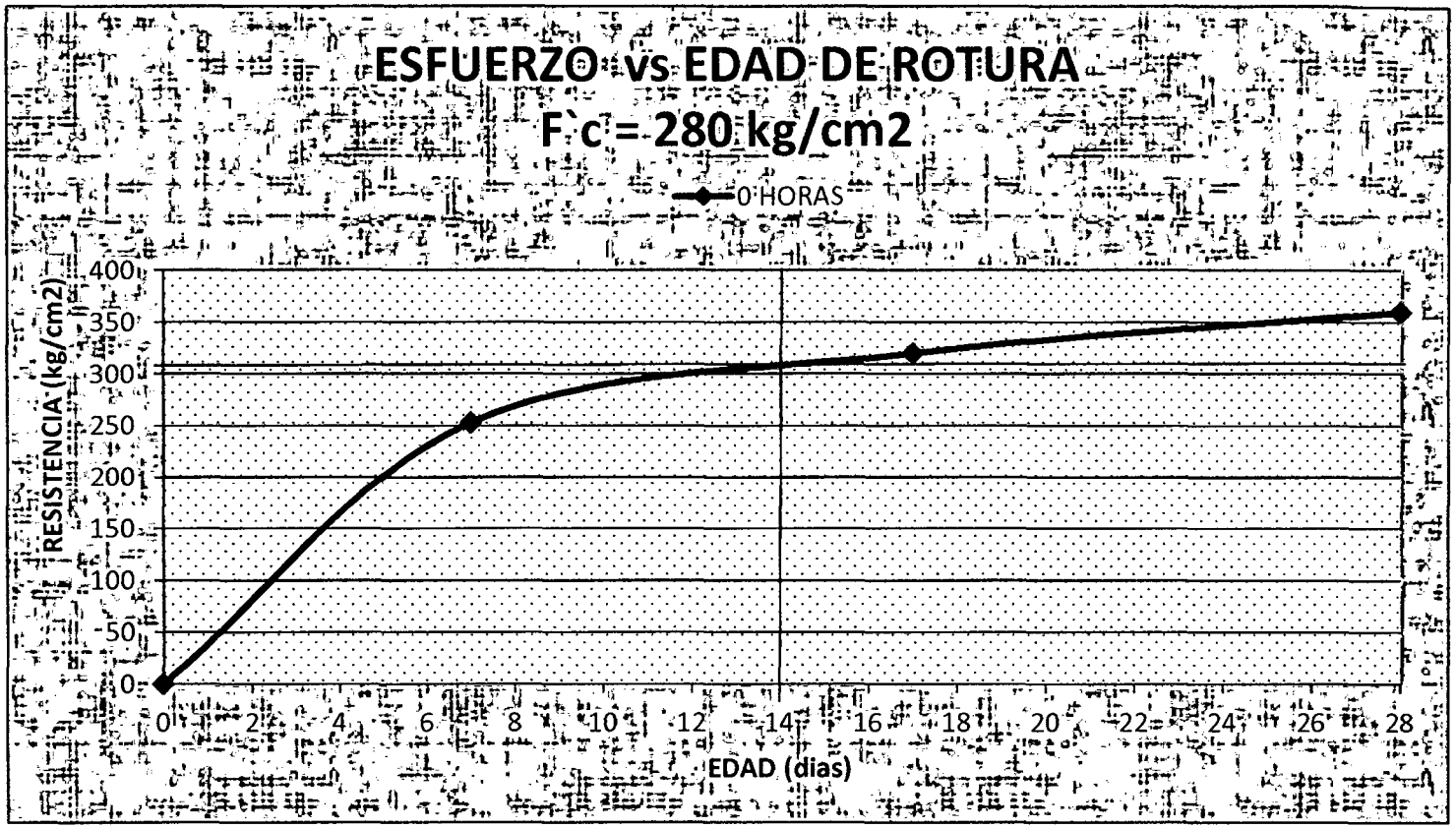


GRAFICO D. 6 Curva Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=280kg/cm2 - 0 HORAS

PROBETAS DE CONCRETO F'c = 280 kg/cm2 – 1 HORA

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2														
Fraguado Inicial 1 hora														
EDAD	CODIGO	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Dprom (cm)	Area (cm2)	Carga (lbs)	Carga (kgf)	f'c (kgf/cm2)	f'c promedio	DESVIACION ESTANDAR			F`t ajustado (kg/cm2)
											x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	P1-07-01	15.50	15.50	15.51	15.50	188.77	108500.00	49215.28	260.71	262.95	-2.24	5.04	1.98	260.98
	P1-07-02	15.27	15.27	15.22	15.25	182.73	107000.00	48534.88	265.60		2.65	7.02		
	P1-07-03	15.30	15.30	15.32	15.31	184.01	107500.00	48761.68	264.99		2.03	4.13		
	P1-07-04	15.29	15.32	15.33	15.31	184.17	106500.00	48308.08	262.29		-0.66	0.44		
	P1-07-05	15.29	15.28	15.36	15.31	184.09	106000.00	48081.28	261.18		-1.78	3.16		
16 Dias	P1-14-01	15.50	15.52	15.53	15.52	189.10	135500.00	61462.40	325.03	328.76	-3.73	13.89	2.24	326.52
	P1-14-02	15.34	15.36	15.42	15.37	185.62	135500.00	61462.40	331.12		2.36	5.58		
	P1-14-03	15.40	15.42	15.27	15.36	185.38	135000.00	61235.60	330.33		1.57	2.47		
	P1-14-04	15.44	15.46	15.46	15.45	187.56	135700.00	61553.12	328.18		-0.57	0.33		
	P1-14-05	15.46	15.48	15.49	15.48	188.12	136500.00	61915.99	329.12		0.37	0.13		
28 Dias	P1-28-01	15.41	15.31	15.34	15.35	185.14	147200.00	66769.48	360.65	358.90	1.74	3.04	1.98	356.93
	P1-28-02	15.24	15.42	15.29	15.32	184.26	146800.00	66588.04	361.39		2.49	6.18		
	P1-28-03	15.34	15.53	15.25	15.37	185.62	147000.00	66678.76	359.22		0.32	0.10		
	P1-28-04	15.40	15.51	15.44	15.45	187.48	147500.00	66905.56	356.87		-2.03	4.12		
	P1-28-05	15.47	15.44	15.44	15.45	187.48	147300.00	66814.84	356.39		-2.51	6.32		

TABLA D. 7 Resultado de Ensayo a la Compresion F'c = 280 kg/cm2 – 1 HORA

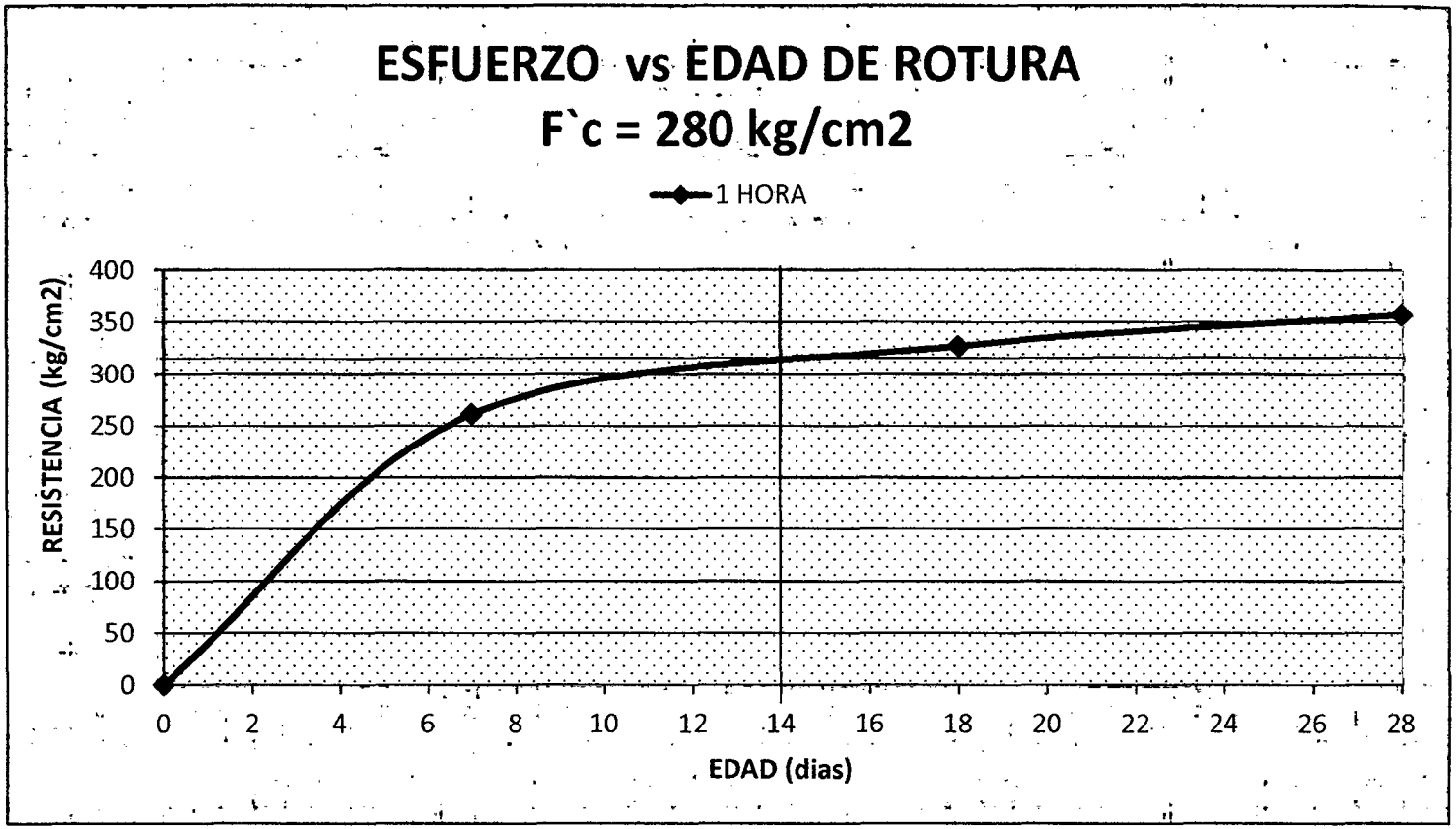


GRAFICO D. 7 Curva Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=280kg/cm2 - 1 HORA

PROBETAS DE CONCRETO F'c = 280 kg/cm2 – 2 HORAS

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2														
Fraguado Inicial 2 horas														
EDAD	CODIGO	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Dprom (cm)	Area (cm2)	Carga (lbs)	Carga (kgf)	f'c (kgf/cm2)	f'c promedio	DESVIACION ESTANDAR			F`t ajustado (kg/cm2)
											x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	P2-07-01	15.36	15.34	15.40	15.37	185.46	95000.00	43091.72	232.35	234.90	-2.55	6.50	1.18	233.72
	P2-07-02	15.18	15.21	15.29	15.23	182.10	95100.00	43137.08	236.89		1.99	3.97		
	P2-07-03	15.26	15.29	15.33	15.29	183.69	95500.00	43318.52	235.82		0.92	0.84		
	P2-07-04	15.33	15.33	15.28	15.31	184.17	95500.00	43318.52	235.20		0.30	0.09		
	P2-07-05	15.26	15.27	15.36	15.30	183.77	94900.00	43046.36	234.24		-0.66	0.44		
14 Dias	P2-14-01	15.41	15.43	15.39	15.41	186.51	122800.00	55701.71	298.66	298.28	0.37	0.14	3.66	294.62
	P2-14-02	15.27	15.32	15.3	15.30	183.77	122500.00	55565.64	302.36		4.07	16.60		
	P2-14-03	15.45	15.44	15.4	15.43	186.99	122900.00	55747.07	298.13		-0.16	0.02		
	P2-14-04	15.33	15.47	15.39	15.40	186.18	122500.00	55565.64	298.44		0.16	0.03		
	P2-14-05	15.55	15.51	15.51	15.52	189.26	122600.00	55611.00	293.83		-4.45	19.81		
28 Dias	P2-28-01	15.51	15.52	15.59	15.54	189.67	140000.00	63503.58	334.82	336.09	-1.27	1.62	1.36	334.73
	P2-28-02	15.41	15.22	15.34	15.32	184.42	137700.00	62460.31	338.69		2.60	6.78		
	P2-28-03	15.38	15.24	15.35	15.32	184.42	137100.00	62188.15	337.22		1.13	1.27		
	P2-28-04	15.51	15.48	15.49	15.49	188.53	138900.00	63004.63	334.19		-1.90	3.61		
	P2-28-05	15.58	15.3	15.44	15.44	187.23	138500.00	62823.19	335.53		-0.56	0.31		

TABLA D. 8 Resultado de Ensayo a la Compresion F'c = 280 kg/cm2 – 2 HORAS

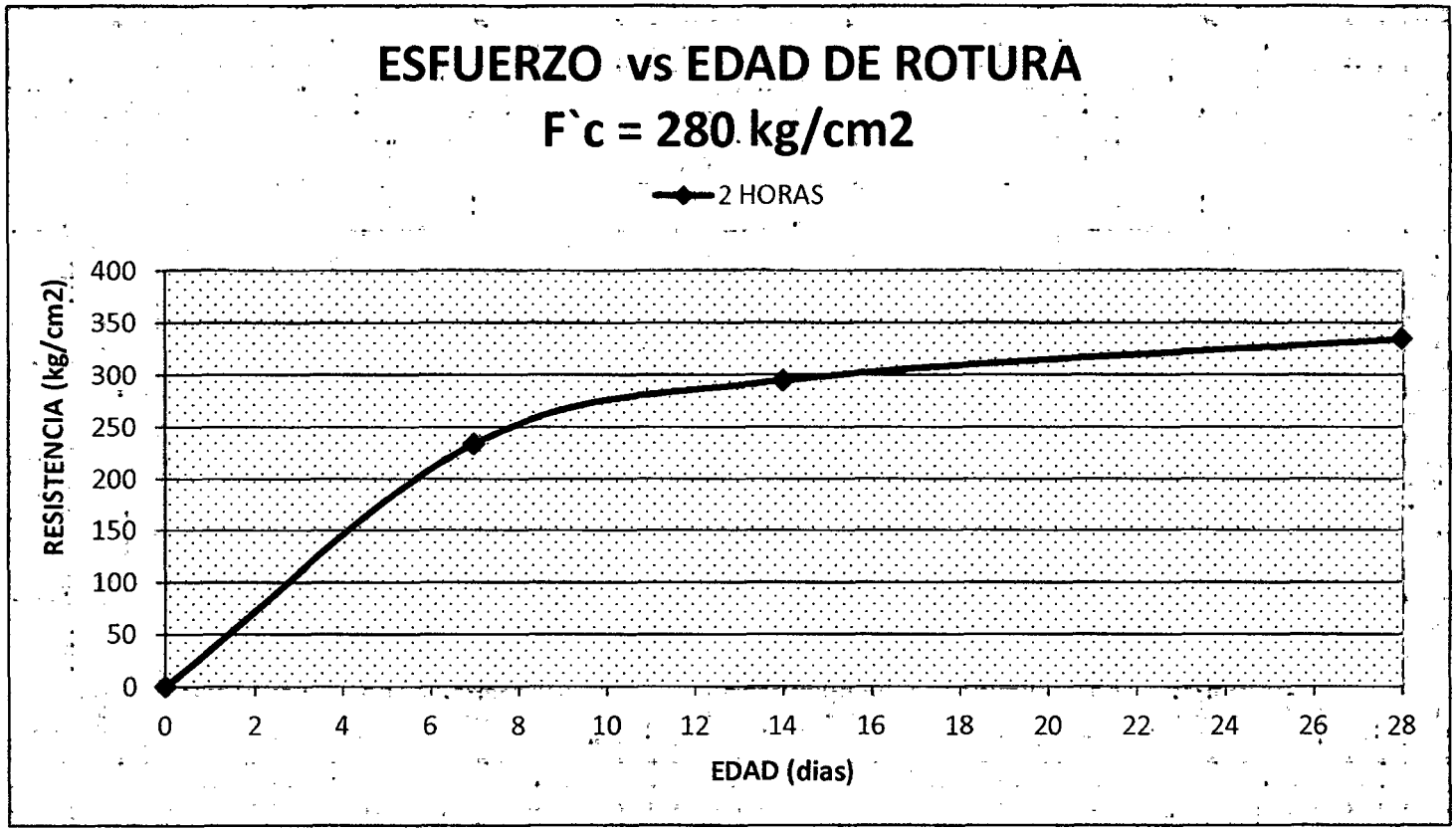


GRAFICO D. 8 Curva Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=280kg/cm2 - 2 HORAS

PROBETAS DE CONCRETO F'c = 280 kg/cm2 – 3 HORAS

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2														
Fraguado Inicial 3 horas														
EDAD	CODIGO	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Dprom (cm)	Area (cm2)	Carga (lbs)	Carga (kgf)	f'c (kgf/cm2)	f'c promedio	DESVIACION ESTANDAR			F't ajustado (kg/cm2)
											x-xm	(x-xm)2	S	
11 Dias	P3-07-01	15.35	15.33	15.38	15.35	185.14	109500.00	49668.87	268.28	268.45	-0.17	0.03	1.00	267.45
	P3-07-02	15.50	15.50	15.48	15.49	188.53	112000.00	50802.87	269.47		1.02	1.04		
	P3-07-03	15.26	15.32	15.32	15.30	183.85	108500.00	49215.28	267.69		-0.76	0.58		
	P3-07-04	15.50	15.52	15.48	15.50	188.69	112500.00	51029.67	270.44		1.99	3.97		
	P3-07-05	15.33	15.36	15.43	15.37	185.62	109000.00	49442.08	266.36		-2.09	4.35		
14 Dias	P3-14-01	15.54	15.49	15.52	15.52	189.10	116000.00	52617.25	278.25	281.04	-2.79	7.78	1.78	279.26
	P3-14-02	15.36	15.39	15.41	15.39	185.94	115000.00	52163.66	280.54		-0.51	0.26		
	P3-14-03	15.19	15.20	15.18	15.19	181.22	112000.00	50802.87	280.34		-0.71	0.50		
	P3-14-04	15.35	15.29	15.25	15.30	183.77	115000.00	52163.66	283.85		2.80	7.86		
	P3-14-05	15.27	15.32	15.33	15.31	184.01	114500.00	51936.86	282.24		1.20	1.44		
28 Dias	P3-28-01	15.53	15.56	15.52	15.54	189.59	127000.00	57606.82	303.86	304.62	-0.77	0.59	1.44	303.18
	P3-28-02	15.36	15.62	15.42	15.47	187.88	125500.00	56926.43	302.99		-1.63	2.67		
	P3-28-03	15.36	15.53	15.48	15.46	187.64	125500.00	56926.43	303.38		-1.24	1.54		
	P3-28-04	15.26	15.25	15.26	15.26	182.81	124000.00	56246.03	307.67		3.04	9.26		
	P3-28-05	15.29	15.25	15.32	15.29	183.53	123500.00	56019.23	305.23		0.60	0.36		

TABLA D. 9 Resultado de Ensayo a la Compresion F'c = 280 kg/cm2 – 3 HORAS

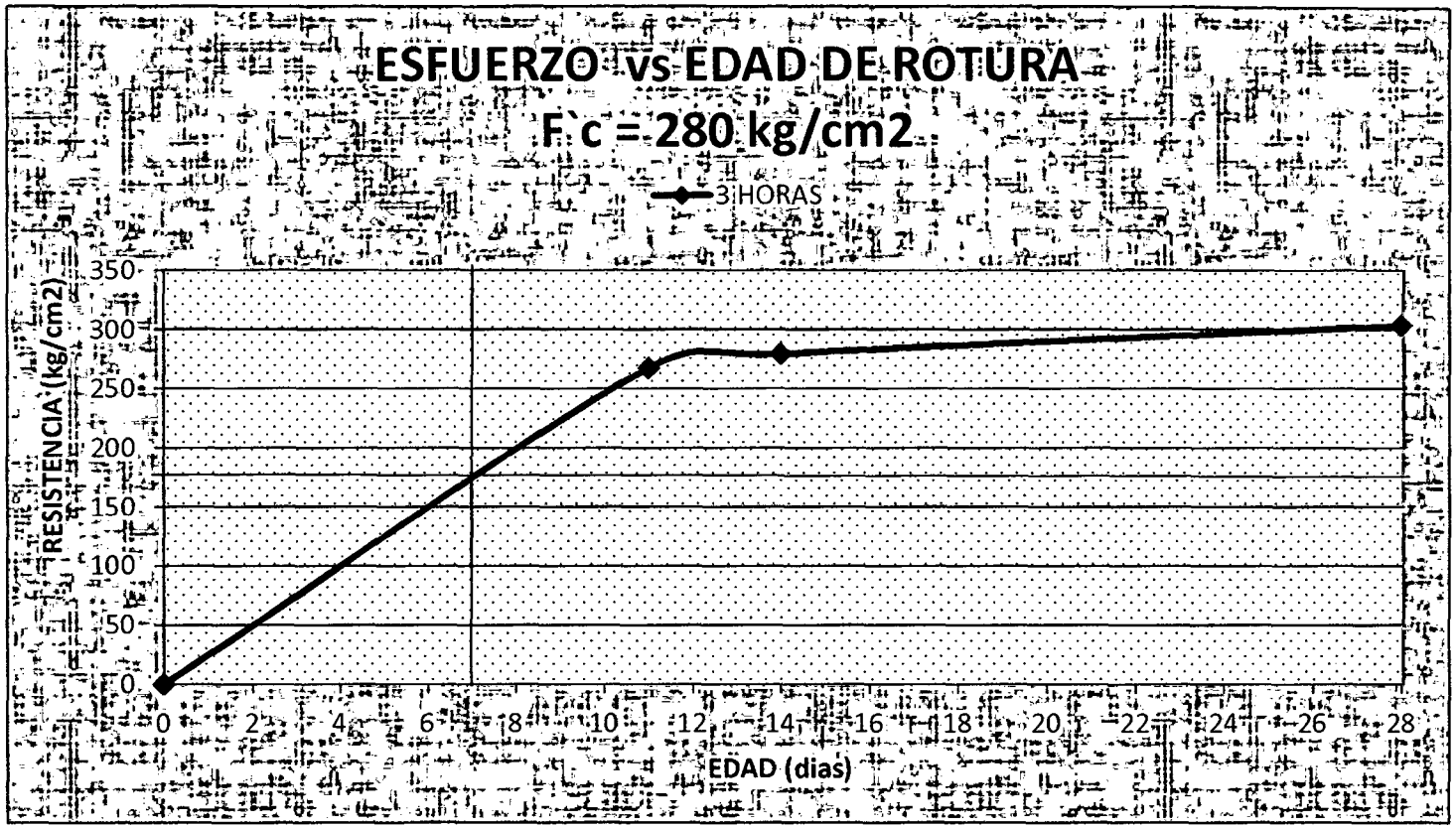


GRAFICO D. 9 Curva Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=280kg/cm2 - 3 HORAS

PROBETAS DE CONCRETO F'c = 280 kg/cm2 – 4 HORAS

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2														
Fraguado Inicial 4 horas														
EDAD	CODIGO	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Dprom (cm)	Area (cm2)	Carga (lbs)	Carga (kgf)	f'c (kgf/cm2)	f'c promedio	DESVIACION ESTANDAR			F't ajustado (kg/cm2)
											x-xm	(x-xm)2	S	
9 Dias	P4-07-01	15.16	15.17	15.20	15.18	180.90	86000.00	39009.34	215.64	214.36	1.28	1.64	1.59	212.77
	P4-07-02	15.33	15.42	15.50	15.42	186.67	87000.00	39462.94	211.41		-2.95	8.71		
	P4-07-03	15.40	15.24	15.28	15.31	184.01	87500.00	39689.74	215.69		1.33	1.77		
	P4-07-04	15.23	15.23	15.20	15.22	181.94	85500.00	38782.55	213.17		-1.19	1.42		
	P4-07-05	15.52	15.51	15.52	15.52	189.10	90000.00	40823.73	215.89		1.53	2.34		
14 Dias	P4-14-01	15.23	15.25	15.45	15.31	184.09	98500.00	44679.31	242.70	240.88	1.82	3.30	1.11	239.77
	P4-14-02	15.42	15.38	15.40	15.40	186.27	98500.00	44679.31	239.87		-1.01	1.03		
	P4-14-03	15.37	15.42	15.38	15.39	186.02	99500.00	45132.90	242.62		1.74	3.02		
	P4-14-04	15.47	15.48	15.46	15.47	187.96	99500.00	45132.90	240.12		-0.77	0.59		
	P4-14-05	15.30	15.32	15.30	15.31	184.01	97000.00	43998.91	239.11		-1.78	3.15		
28 Dias	P4-28-01	15.38	15.39	15.38	15.38	185.86	115500.00	52390.46	281.88	281.66	0.22	0.05	1.71	279.95
	P4-28-02	15.25	15.30	15.45	15.33	184.66	114500.00	51936.86	281.26		-0.40	0.16		
	P4-28-03	15.33	15.28	15.30	15.30	183.93	115500.00	52390.46	284.83		3.17	10.06		
	P4-28-04	15.22	15.30	15.28	15.27	183.05	113500.00	51483.26	281.25		-0.41	0.17		
	P4-28-05	15.40	15.43	15.45	15.43	186.91	115000.00	52163.66	279.08		-2.58	6.64		

TABLA D. 10 Resultado de Ensayo a la Compresion F'c = 280 kg/cm2 – 4 HORAS

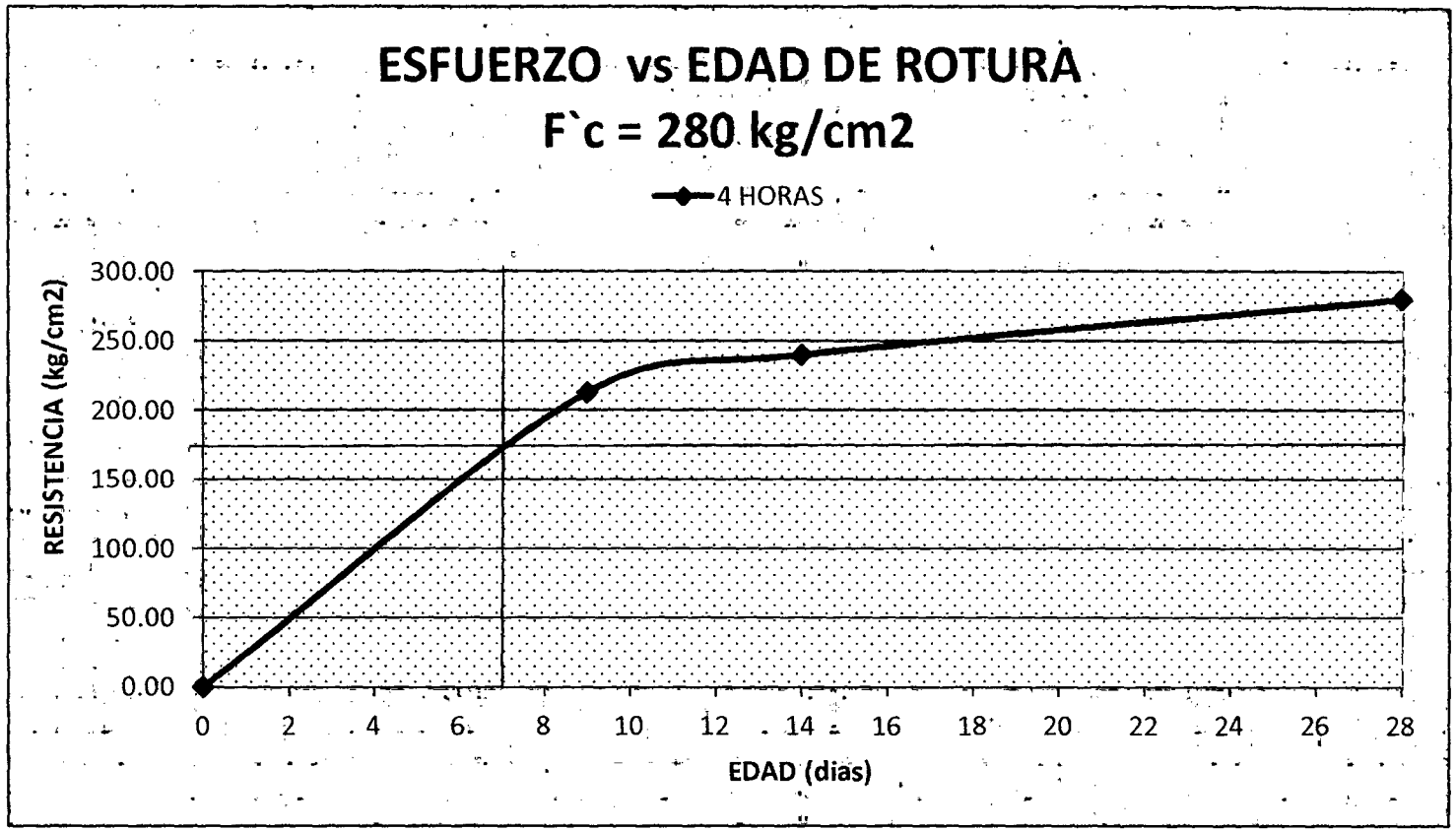


GRAFICO D. 10 Curva Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=280kg/cm2 - 4 HORAS

RESUMEN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
F'c=210 kg/cm2

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION F'c=210 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	201.00	211.93	185.43	177.58	152.13
14	252.41	256.52	218.70	213.32	177.50
28	284.50	263.00	249.92	230.13	221.05

TABLA D. 11 Resumen del ensayo de resistencia a la compresión f'c=210kg/cm2

CURVAS ESFUERZO VS EDAD DE ROTURA - COMPRESIÓN
F'c=210 kg/cm2

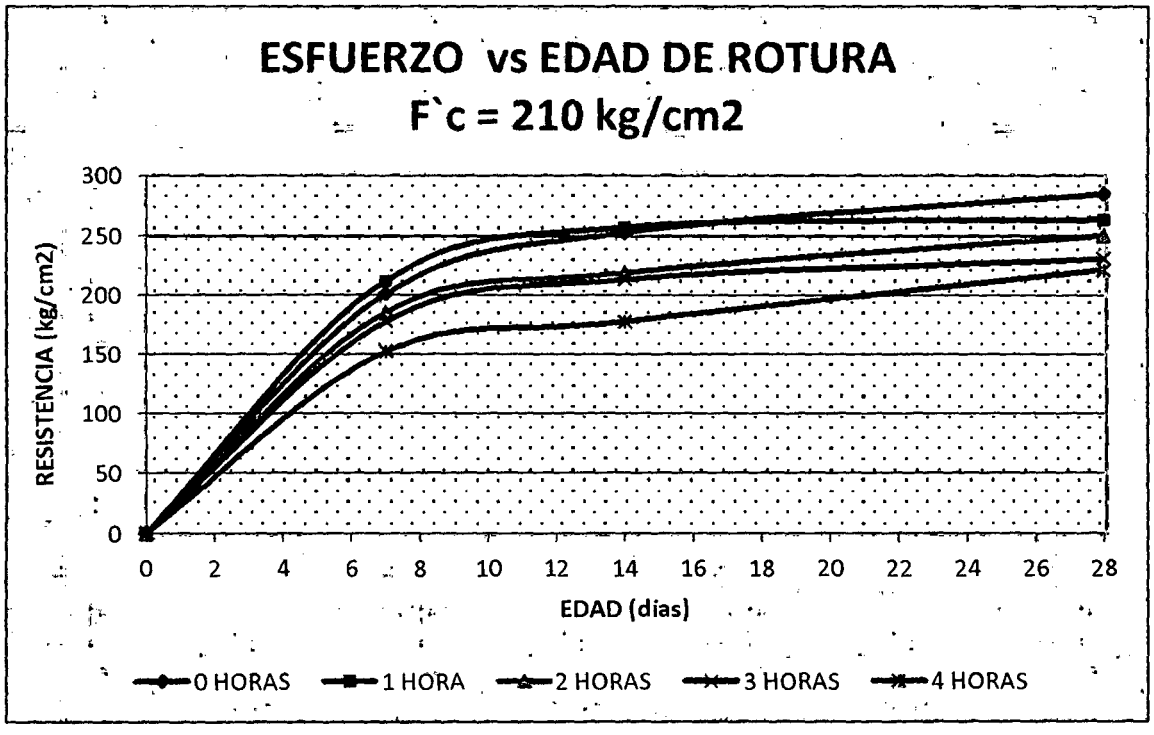


GRAFICO D. 11 Curvas Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=210kg/cm2

BARRAS ESFUERZO VS EDAD DE ROTURA - COMPRESIÓN
F'c=210 kg/cm2

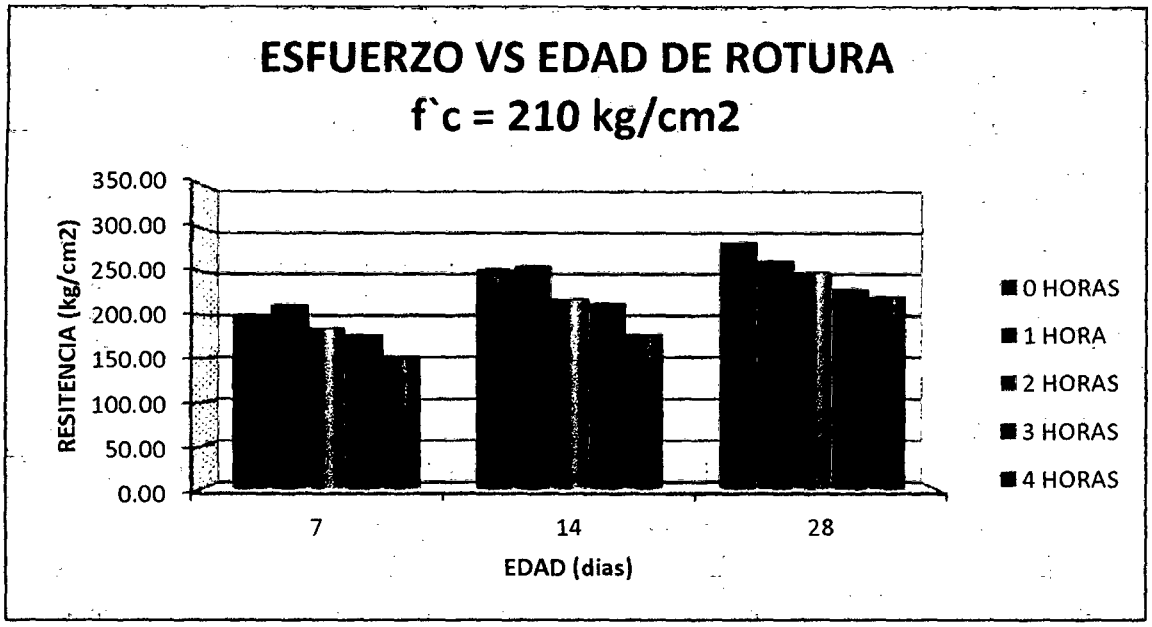


GRAFICO D. 12 Barras Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=210kg/cm2

COMPARACION EN PORCENTAJE DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
F'c=210kg/cm2

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION F'c=210 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	100%	105%	92%	88%	76%
14	100%	102%	87%	85%	70%
28	100%	92%	88%	81%	78%

TABLA D. 12 Comparación en Porcentaje de Resistencia a la Compresión F'c=210kg/cm2

RESUMEN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
F'c=280 kg/cm2

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION F'c=280 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	252.81	260.98	233.72	178.85	172.15
14	309.50	316.75	294.62	279.26	239.77
28	359.62	356.93	334.73	303.18	279.95

TABLA D. 13 Resumen del ensayo de resistencia a la compresión f'c=280kg/cm2

CURVA ESFUERZO VS EDAD DE ROTURA - COMPRESION
F'c=280 kg/cm2

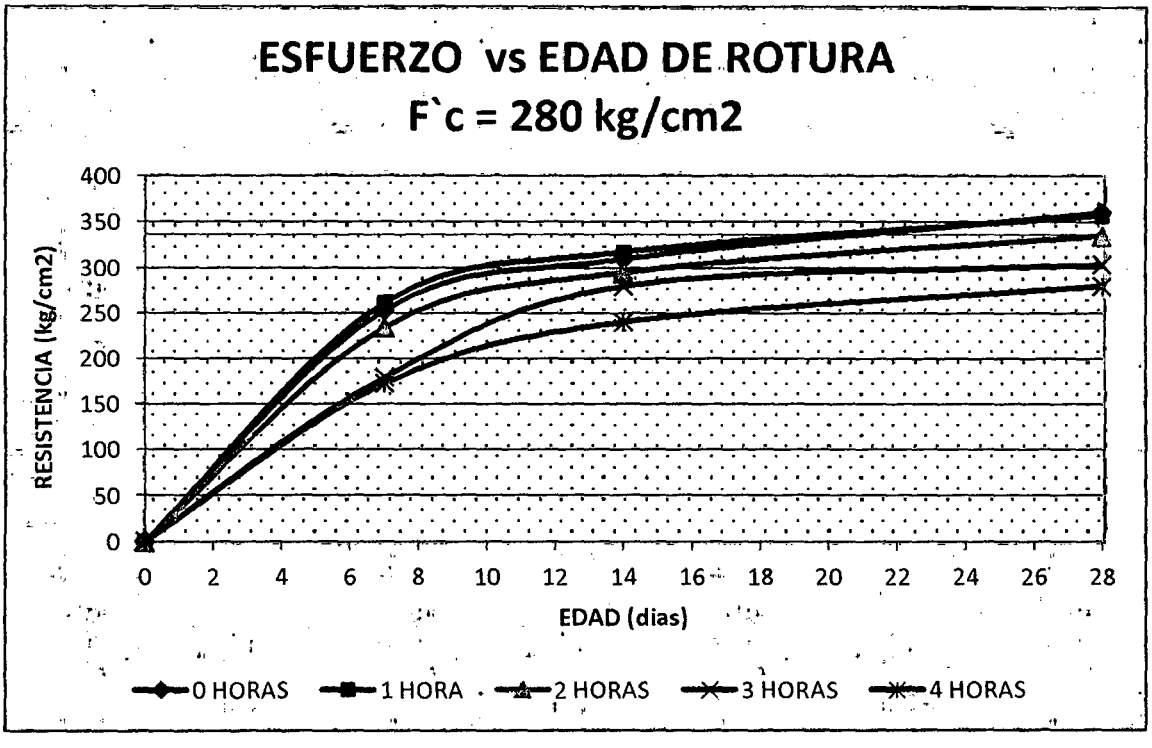


GRAFICO D. 13 Curvas Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=280kg/cm2

BARRAS ESFUERZO VS EDAD DE ROTURA - COMPRESIÓN
F'c=280 kg/cm2

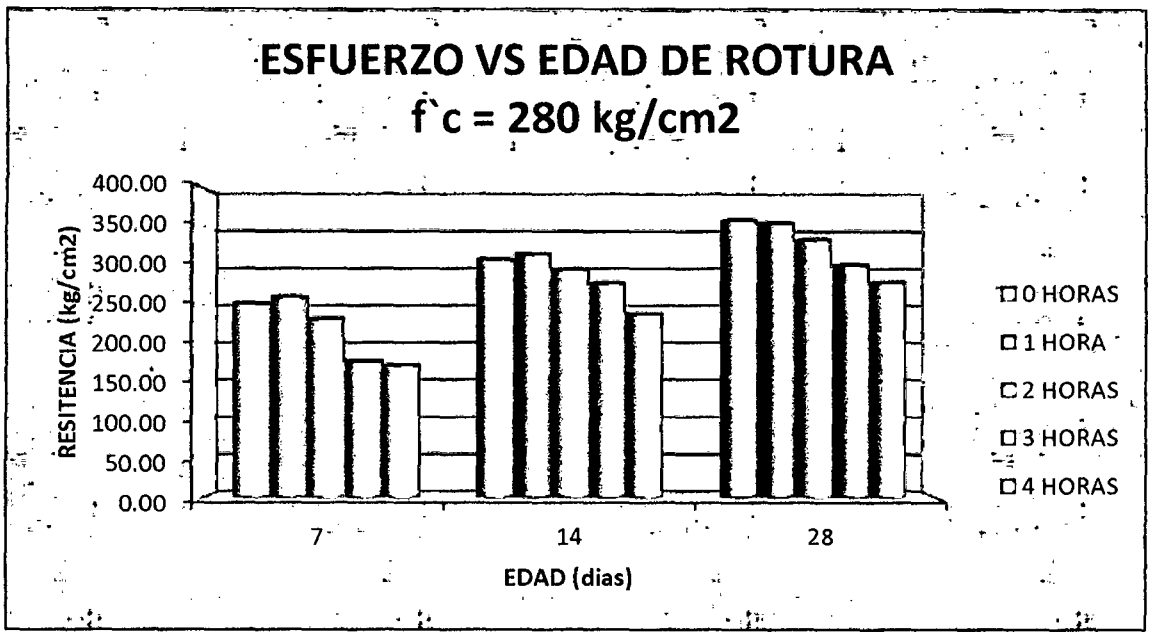


GRAFICO D. 14 Barras Esfuerzo vs Edad de Rotura - Compresión f'c=280kg/cm2

COMPARACION EN PORCENTAJE DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
F'c=210kg/cm2

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION F'c=280 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	100%	103%	92%	71%	68%
14	100%	102%	95%	90%	77%
28	100%	99%	93%	84%	78%

TABLA D. 14 Comparación en Porcentaje de Resistencia a la Compresión F'c=280kg/cm2

ANEXO E

RESISTENCIA A LA TENSION POR FLEXION

RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE ENSAYO A TENSION POR FLEXION

VIGA DE CONCRETO F'c = 210 kg/cm2 – 0 HORAS

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2																
Fraguado Inicial 0 horas																
EDAD	CODIGO	BASE			ALTURA			CARGA APLICADA		Longitud	Ft	F`t prom	DESVIACION ESTANDAR			F`t ajustado
		b1 (cm)	b2 (cm)	b promedio (cm)	d1 (cm)	d2 (cm)	d promedio (cm)	(lbs)	(kg)	(cm)	(kg/cm2)	(kg/cm2)	x-xm	(x-xm)2	S	(kg/cm2)
7 Dias	V0-07-01	15.20	15.30	15.25	15.40	15.30	15.35	4600	2086.55	60.00	34.84	34.80	0.04	0.00	0.023	34.78
	V0-07-02	15.10	15.15	15.13	15.30	15.25	15.28	4530	2054.79	60.00	34.94		0.14	0.02		
	V0-07-03	14.95	15.00	14.98	15.20	15.30	15.25	4490	2036.65	60.00	35.09		0.29	0.08		
	V0-07-04	15.10	15.20	15.15	15.25	15.30	15.28	4500	2041.19	60.00	34.65		-0.15	0.02		
	V0-07-05	15.15	15.20	15.18	15.40	15.30	15.35	4530	2054.79	60.00	34.48		-0.32	0.10		
14 Dias	V0-14-01	15.10	15.10	15.10	15.35	15.25	15.30	5100	2313.34	60.00	39.27	39.44	-0.18	0.03	0.025	39.42
	V0-14-02	15.20	15.15	15.18	15.40	15.35	15.38	5250	2381.38	60.00	39.83		0.39	0.15		
	V0-14-03	15.20	15.10	15.15	15.30	15.30	15.30	5150	2336.02	60.00	39.52		0.08	0.01		
	V0-14-04	15.10	14.90	15.00	15.35	15.30	15.33	5100	2313.34	60.00	39.40		-0.04	0.00		
	V0-14-05	15.15	15.00	15.08	15.40	15.40	15.40	5150	2336.02	60.00	39.20		-0.24	0.06		
28 Dias	V0-28-01	15.20	15.15	15.18	15.25	15.40	15.33	5750	2608.18	60.00	43.91	43.92	-0.01	0.00	0.054	43.87
	V0-28-02	15.10	15.15	15.13	15.30	15.25	15.28	5750	2608.18	60.00	44.34		0.42	0.18		
	V0-28-03	15.20	15.15	15.18	15.30	15.30	15.30	5700	2585.50	60.00	43.67		-0.25	0.06		
	V0-28-04	15.10	15.10	15.10	15.40	15.35	15.38	5700	2585.50	60.00	43.46		-0.46	0.21		
	V0-28-05	15.20	15.10	15.15	15.30	15.40	15.35	5800	2630.86	60.00	44.22		0.30	0.09		

TABLA E. 1 Resultado De Ensayo a la Tensión por Flexión F'c = 210 kg/cm2 - 0 HORAS

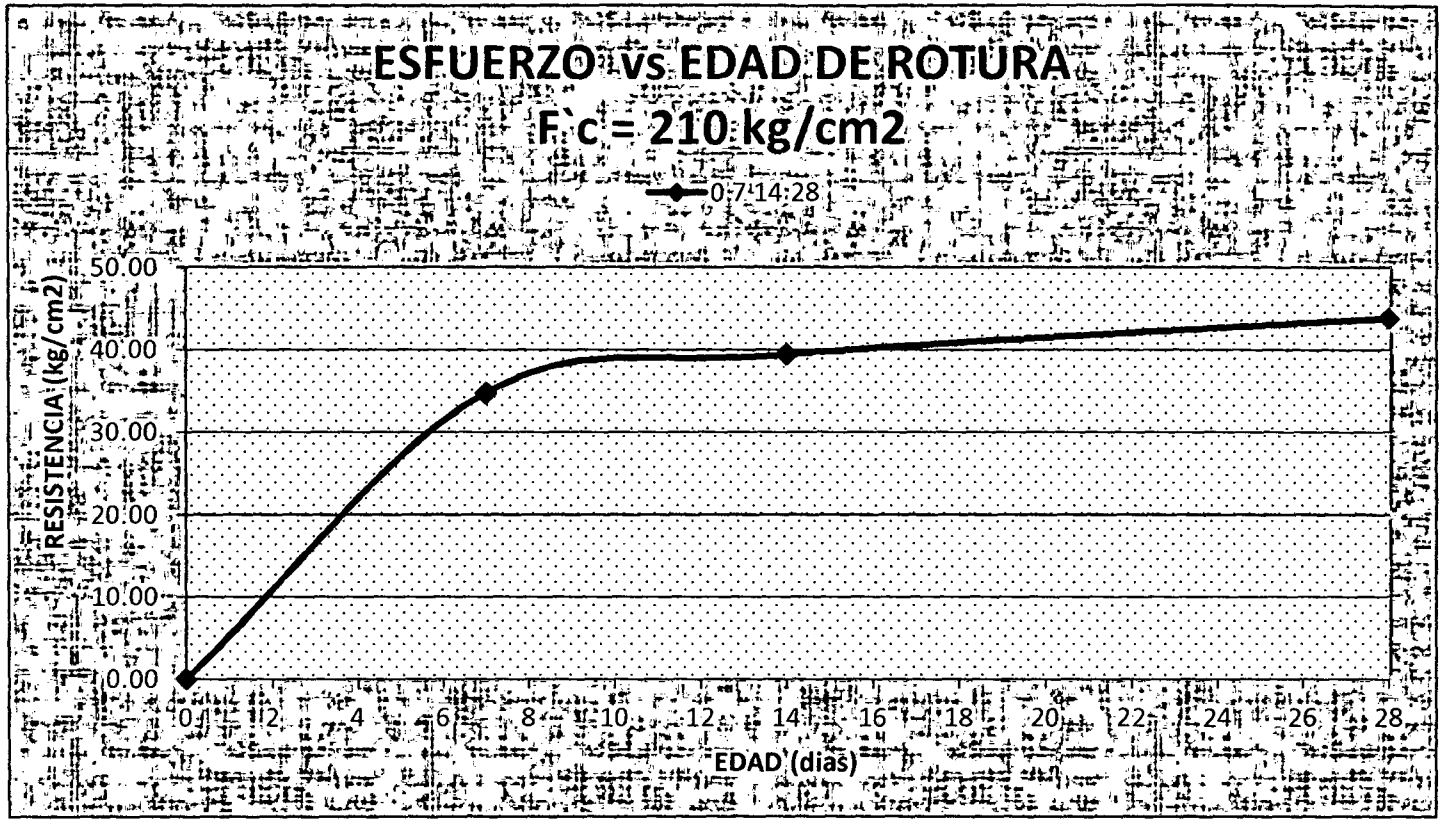


GRAFICO E. 1 Curva de resistencia a la flexión f'c=210kg/cm2 – 0 HORAS

VIGA DE CONCRETO F'c = 210 kg/cm2 – 1 HORA

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2																
Fraguado Inicial 1 horas																
EDAD	CODIGO	BASE			ALTURA			CARGA APLICADA		Longitud	Ft	F`t prom	DESVIACION ESTANDAR			F`t ajustado
		b1 (cm)	b2 (cm)	b promedio (cm)	d1 (cm)	d2 (cm)	d promedio (cm)	(lbs)	(kg)	(cm)	(kg/cm2)	(kg/cm2)	x-xm	(x-xm)2	S	(kg/cm2)
7 Dias	V1-07-01	15.15	15.30	15.23	15.30	15.30	15.30	4800	2177.27	60.00	36.65	37.37	-0.72	0.52	0.217	37.16
	V1-07-02	15.20	15.15	15.18	15.25	15.30	15.28	4900	2222.63	60.00	37.66		0.29	0.08		
	V1-07-03	15.00	15.00	15.00	15.25	15.30	15.28	4950	2245.31	60.00	38.49		1.12	1.25		
	V1-07-04	15.10	15.20	15.15	15.25	15.35	15.30	4850	2199.95	60.00	37.22		-0.15	0.02		
	V1-07-05	15.15	15.15	15.15	15.30	15.30	15.30	4800	2177.27	60.00	36.84		-0.54	0.29		
14 Dias	V1-14-01	15.10	15.10	15.10	15.30	15.25	15.28	5700	2585.50	60.00	44.03	43.00	1.03	1.07	0.388	42.61
	V1-14-02	15.10	15.15	15.13	15.40	15.35	15.38	5700	2585.50	60.00	43.39		0.39	0.15		
	V1-14-03	15.15	15.10	15.13	15.35	15.30	15.33	5400	2449.42	60.00	41.37		-1.62	2.64		
	V1-14-04	15.10	15.00	15.05	15.35	15.30	15.33	5600	2540.14	60.00	43.12		0.12	0.01		
	V1-14-05	15.15	15.15	15.15	15.40	15.30	15.35	5650	2562.82	60.00	43.08		0.08	0.01		
28 Dias	V1-28-01	15.20	15.15	15.18	15.25	15.40	15.33	5850	2653.54	60.00	44.67	44.59	0.08	0.01	0.168	44.42
	V1-28-02	15.20	15.15	15.18	15.25	15.25	15.25	5900	2676.22	60.00	45.50		0.91	0.82		
	V1-28-03	15.20	15.10	15.15	15.30	15.30	15.30	5800	2630.86	60.00	44.51		-0.08	0.01		
	V1-28-04	15.10	15.15	15.13	15.30	15.35	15.33	5700	2585.50	60.00	43.67		-0.92	0.85		
	V1-28-05	15.20	15.10	15.15	15.30	15.40	15.35	5850	2653.54	60.00	44.60		0.01	0.00		

TABLA E. 2 Resultado De Ensayo a la Tensión por Flexión F'c = 210 kg/cm2 - 1 HORA

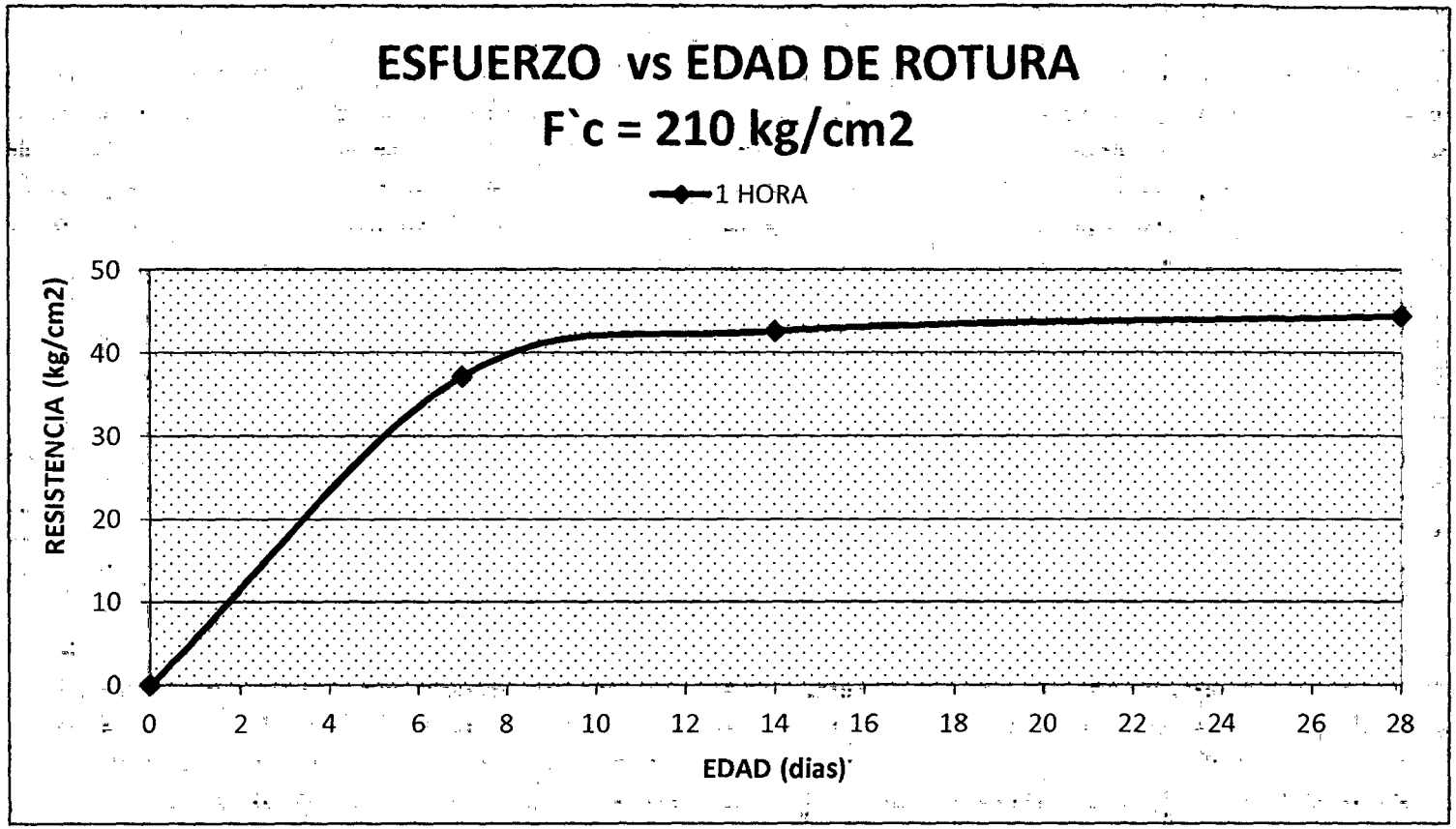


GRAFICO E. 2 Curva de resistencia a la flexión f'c=210kg/cm2 – 1 HORA

VIGA DE CONCRETO F'c = 210 kg/cm2 – 2 HORAS

CONCRETO f'c = 210 kgf/cm2																
Fraguado Inicial 2 horas																
EDAD	CODIGO	BASE			ALTURA			CARGA APLICADA		Longitud (cm)	Ft (kg/cm2)	F`t prom (kg/cm2)	DESVIACION ESTANDAR			F`t ajustado (kg/cm2)
		b1 (cm)	b2 (cm)	b promedio (cm)	d1 (cm)	d2 (cm)	d promedio (cm)	(lbs)	(kg)				x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	V2-07-01	15.25	15.30	15.28	15.35	15.30	15.33	4510	2045.72	60.00	34.21	34.44	-0.22	0.05	0.057	34.38
	V2-07-02	15.10	15.20	15.15	15.30	15.25	15.28	4520	2050.26	60.00	34.80		0.36	0.13		
	V2-07-03	15.10	15.00	15.05	15.20	15.35	15.28	4490	2036.65	60.00	34.80		0.36	0.13		
	V2-07-04	15.15	15.20	15.18	15.25	15.40	15.33	4510	2045.72	60.00	34.44		0.00	0.00		
	V2-07-05	15.15	15.15	15.15	15.40	15.30	15.35	4450	2018.51	60.00	33.93		-0.51	0.26		
14 Dias	V2-14-01	15.20	15.10	15.15	15.35	15.30	15.33	4830	2190.87	60.00	36.94	37.05	-0.11	0.01	0.021	37.03
	V2-14-02	15.20	15.15	15.18	15.40	15.40	15.40	4860	2204.48	60.00	36.75		-0.30	0.09		
	V2-14-03	15.10	15.10	15.10	15.30	15.35	15.33	4850	2199.95	60.00	37.22		0.17	0.03		
	V2-14-04	15.10	15.20	15.15	15.35	15.30	15.33	4880	2213.55	60.00	37.33		0.28	0.08		
	V2-14-05	15.15	15.20	15.18	15.40	15.45	15.43	4910	2227.16	60.00	37.01		-0.04	0.00		
28 Dias	V2-28-01	15.20	15.10	15.15	15.25	15.40	15.33	5500	2494.78	60.00	42.07	41.80	0.27	0.07	0.021	41.78
	V2-28-02	15.10	15.15	15.13	15.40	15.25	15.33	5460	2476.64	60.00	41.83		0.03	0.00		
	V2-28-03	15.20	15.10	15.15	15.35	15.30	15.30	5400	2449.42	60.00	41.44		-0.36	0.13		
	V2-28-04	15.10	15.10	15.10	15.30	15.35	15.33	5450	2472.10	60.00	41.83		0.02	0.00		
	V2-28-05	15.20	15.15	15.18	15.30	15.35	15.33	5480	2485.71	60.00	41.85		0.04	0.00		

TABLA E. 3 Resultado De Ensayo a la Tensión por Flexión F'c = 210 kg/cm2 - 2 HORAS

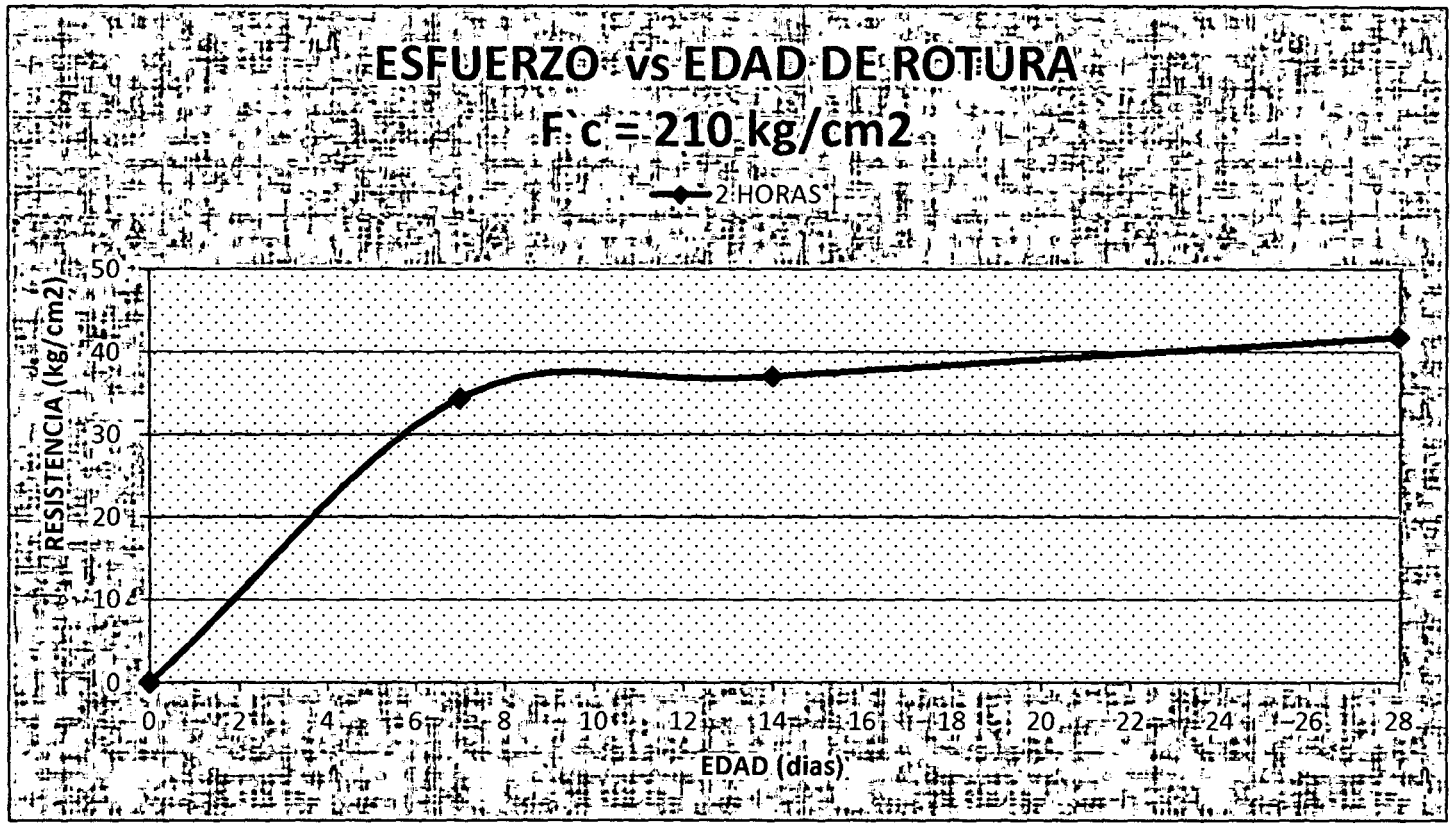


GRAFICO E. 3 Curva de resistencia a la flexión f'c=210kg/cm2 – 2 HORAS

VIGA DE CONCRETO F'c = 210 kg/cm2 – 3 HORAS

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2																
Fraguado Inicial 3 horas																
EDAD	CODIGO	BASE			ALTURA			CARGA APLICADA		Longitud (cm)	Ft (kg/cm2)	F`t prom (kg/cm2)	DESVIACION ESTANDAR			F`t ajustado (kg/cm2)
		b1 (cm)	b2 (cm)	b promedio (cm)	d1 (cm)	d2 (cm)	d promedio (cm)	(lbs)	(kg)				x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	V3-07-01	15.25	15.30	15.28	15.40	15.25	15.33	4050	1837.07	60.00	30.73	30.80	-0.07	0.01	0.199	30.60
	V3-07-02	15.10	15.20	15.15	15.30	15.25	15.28	3950	1791.71	60.00	30.41		-0.39	0.15		
	V3-07-03	15.10	15.00	15.05	15.25	15.30	15.28	4080	1850.68	60.00	31.62		0.82	0.68		
	V3-07-04	15.20	15.20	15.20	15.25	15.35	15.30	4100	1859.75	60.00	31.36		0.56	0.31		
	V3-07-05	15.15	15.20	15.18	15.30	15.30	15.30	3900	1769.03	60.00	29.88		-0.92	0.85		
14 Dias	V3-14-01	15.10	15.15	15.13	15.30	15.25	15.28	4400	1995.83	60.00	33.93	33.57	0.36	0.13	0.017	33.55
	V3-14-02	15.25	15.15	15.20	15.40	15.30	15.35	4410	2000.36	60.00	33.51		-0.06	0.00		
	V3-14-03	15.20	15.15	15.18	15.30	15.25	15.28	4350	1973.15	60.00	33.44		-0.13	0.02		
	V3-14-04	15.10	15.00	15.05	15.35	15.40	15.38	4380	1986.75	60.00	33.51		-0.06	0.00		
	V3-14-05	15.15	15.20	15.18	15.40	15.35	15.38	4410	2000.36	60.00	33.46		-0.11	0.01		
28 Dias	V3-28-01	15.20	15.15	15.18	15.25	15.40	15.33	5100	2313.34	60.00	38.95	38.87	0.08	0.01	0.132	38.74
	V3-28-02	15.10	15.10	15.10	15.30	15.30	15.30	5150	2336.02	60.00	39.65		0.78	0.61		
	V3-28-03	15.20	15.10	15.15	15.30	15.20	15.30	5050	2290.66	60.00	38.75		-0.11	0.01		
	V3-28-04	15.10	15.20	15.15	15.40	15.30	15.35	4990	2263.45	60.00	38.04		-0.82	0.68		
	V3-28-05	15.20	15.15	15.18	15.30	15.35	15.33	5100	2313.34	60.00	38.95		0.08	0.01		

TABLA E. 4 Resultado De Ensayo a la Tensión por Flexión F'c = 210 kg/cm2 - 3 HORAS

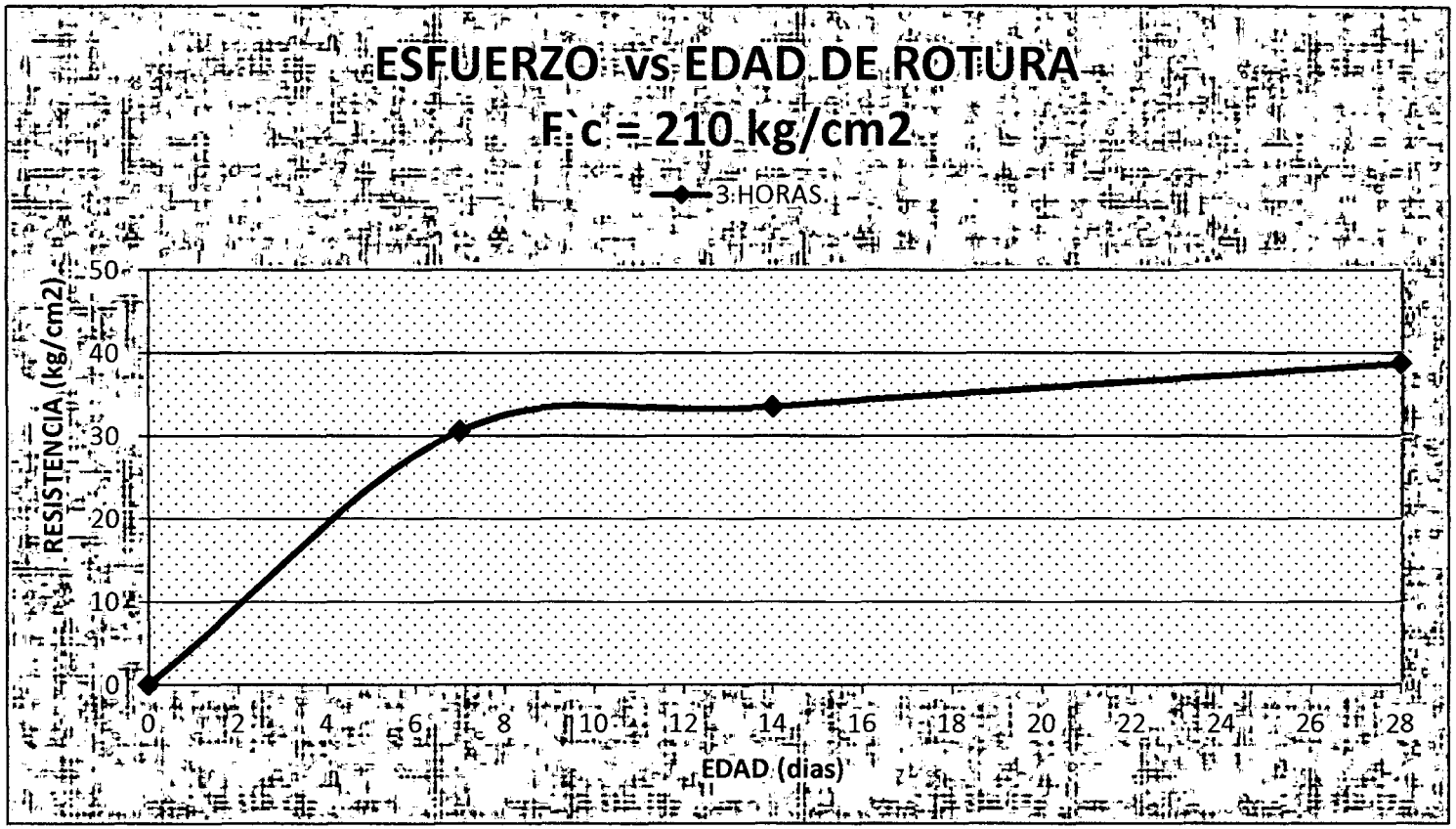


GRAFICO E. 4 Curva de resistencia a la flexión f'c=210kg/cm2 – 3 HORAS

VIGA DE CONCRETO F'c = 210 kg/cm2 – 4 HORAS

CONCRETO f'c = 210 kgf/cm2																
Fraguado Inicial 4 horas																
EDAD	CODIGO	BASE			ALTURA			CARGA APLICADA		Longitud (cm)	Ft (kg/cm2)	F`t prom (kg/cm2)	DESVIACION ESTANDAR			F`t ajustado (kg/cm2)
		b1 (cm)	b2 (cm)	b promedio (cm)	d1 (cm)	d2 (cm)	d promedio (cm)	(lbs)	(kg)				x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	V4-07-01	15.15	15.20	15.18	15.40	15.30	15.35	3750	1700.99	60.00	28.54	28.74	-0.20	0.04	0.159	28.58
	V4-07-02	15.10	15.10	15.10	15.30	15.25	15.28	3850	1746.35	60.00	29.74		1.00	1.00		
	V4-07-03	15.10	15.00	15.05	15.20	15.30	15.25	3650	1655.63	60.00	28.38		-0.36	0.13		
	V4-07-04	15.10	15.15	15.13	15.25	15.30	15.28	3750	1700.99	60.00	28.92		0.18	0.03		
	V4-07-05	15.20	15.20	15.20	15.40	15.30	15.35	3700	1678.31	60.00	28.12		-0.62	0.39		
14 Dias	V4-14-01	15.10	15.15	15.13	15.35	15.25	15.30	4100	1859.75	60.00	31.52	31.08	0.43	0.19	0.221	30.86
	V4-14-02	15.20	15.15	15.18	15.40	15.35	15.38	3950	1791.71	60.00	29.97		-1.12	1.25		
	V4-14-03	15.20	15.20	15.20	15.30	15.30	15.30	4050	1837.07	60.00	30.98		-0.11	0.01		
	V4-14-04	15.10	15.00	15.05	15.35	15.30	15.33	4150	1882.43	60.00	31.95		0.87	0.76		
	V4-14-05	15.15	15.20	15.18	15.40	15.40	15.40	4100	1859.75	60.00	31.01		-0.08	0.01		
28 Dias	V4-28-01	15.20	15.20	15.20	15.25	15.40	15.33	4650	2109.23	60.00	35.45	35.64	-0.19	0.03	0.114	35.52
	V4-28-02	15.10	15.00	15.05	15.30	15.25	15.28	4500	2041.19	60.00	34.88		-0.76	0.58		
	V4-28-03	15.20	15.10	15.15	15.30	15.30	15.30	4700	2131.91	60.00	36.07		0.43	0.19		
	V4-28-04	15.10	15.00	15.05	15.40	15.35	15.38	4650	2109.23	60.00	35.57		-0.06	0.00		
	V4-28-05	15.10	15.20	15.15	15.30	15.40	15.35	4750	2154.59	60.00	36.21		0.58	0.33		

TABLA E. 5 Resultado De Ensayo a la Tensión por Flexión F'c = 210 kg/cm2 - 4 HORAS

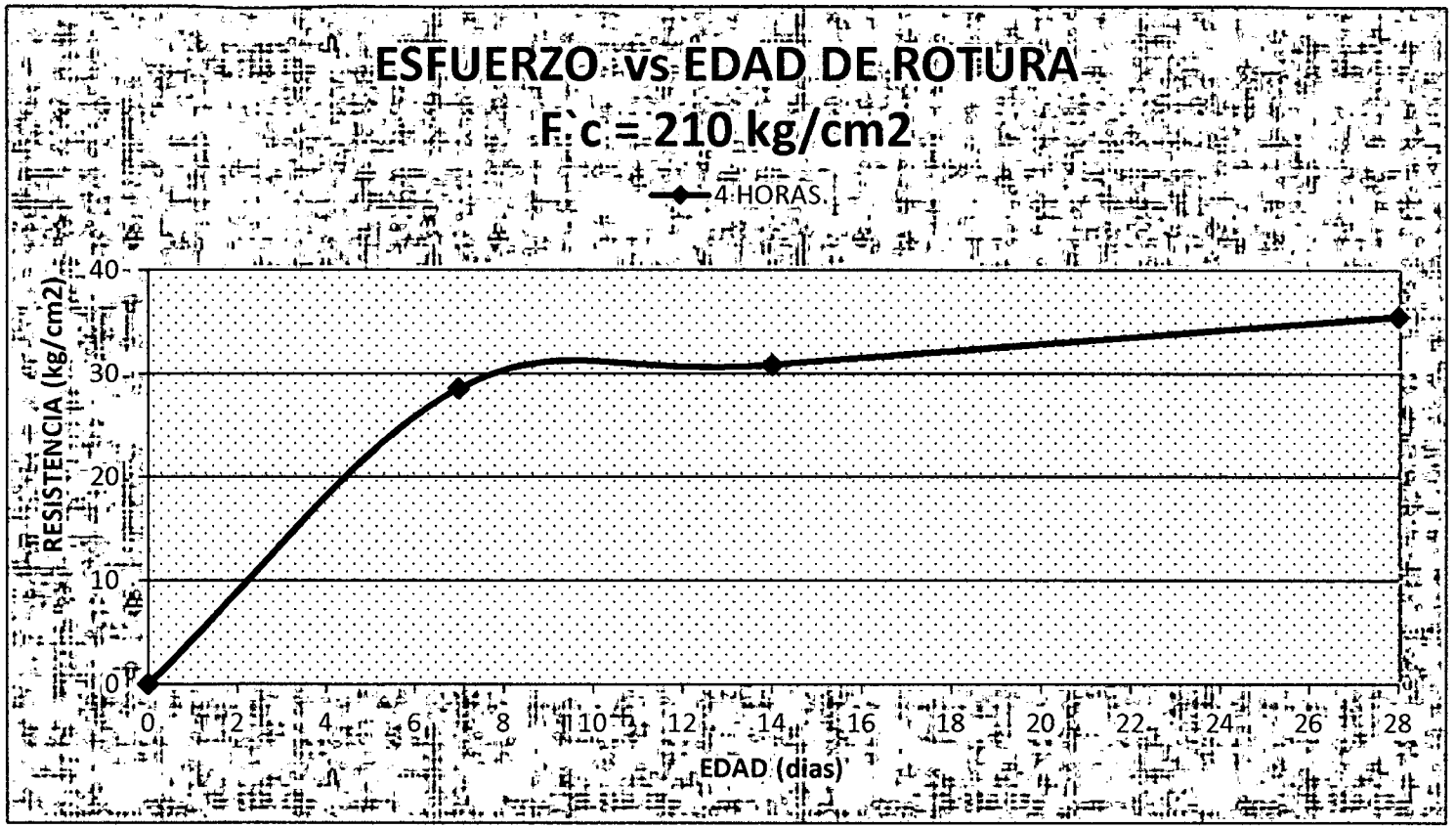


GRAFICO E. 5 Curva de resistencia a la flexión f'c=210kg/cm2 – 4 HORAS

VIGA DE CONCRETO F'c = 280 kg/cm2 – 0 HORAS

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2																
Fraguado Inicial 0 horas																
EDAD	CODIGO	BASE			ALTURA			CARGA APLICADA		Longitud (cm)	Ft (kg/cm2)	F`t prom (kg/cm2)	DESVIACION ESTANDAR			F`t ajustado (kg/cm2)
		b1 (cm)	b2 (cm)	b promedio (cm)	d1 (cm)	d2 (cm)	d promedio (cm)	(lbs)	(kg)				x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	V0-07-01	15.10	15.25	15.18	15.30	15.30	15.30	4700	2131.91	60.00	36.01	37.91	-1.91	3.63	0.889	37.03
	V0-07-02	15.15	15.15	15.15	15.20	15.25	15.23	4900	2222.63	60.00	37.97		0.06	0.00		
	V0-07-03	15.10	15.00	15.05	15.20	15.25	15.23	5150	2336.02	60.00	40.18		2.26	5.12		
	V0-07-04	15.10	15.15	15.13	15.35	15.30	15.33	4900	2222.63	60.00	37.54		-0.37	0.14		
	V0-07-05	15.20	15.20	15.20	15.40	15.35	15.38	5000	2267.99	60.00	37.87		-0.04	0.00		
14 Dias	V0-14-01	15.10	15.15	15.13	15.20	15.25	15.23	5300	2404.06	60.00	41.14	43.43	-2.29	5.24	0.718	42.71
	V0-14-02	15.20	15.15	15.18	15.40	15.30	15.35	5800	2630.86	60.00	44.15		0.72	0.51		
	V0-14-03	15.15	15.10	15.13	15.30	15.35	15.33	5700	2585.50	60.00	43.67		0.24	0.06		
	V0-14-04	15.10	15.00	15.05	15.35	15.40	15.38	5700	2585.50	60.00	43.60		0.17	0.03		
	V0-14-05	15.15	14.90	15.03	15.30	15.40	15.35	5800	2630.86	60.00	44.59		1.16	1.34		
28 Dias	V0-28-01	15.20	15.10	15.15	15.25	15.35	15.30	6300	2857.66	60.00	48.35	48.63	-0.29	0.08	0.115	48.52
	V0-28-02	15.10	15.20	15.15	15.30	15.20	15.25	6350	2880.34	60.00	49.05		0.42	0.18		
	V0-28-03	15.20	15.10	15.15	15.30	15.25	15.30	6250	2834.98	60.00	47.96		-0.67	0.45		
	V0-28-04	15.10	14.90	15.00	15.40	15.30	15.35	6300	2857.66	60.00	48.51		-0.12	0.01		
	V0-28-05	15.10	15.15	15.13	15.30	15.20	15.25	6370	2889.41	60.00	49.29		0.65	0.43		

TABLA E. 6 Resultado De Ensayo a la Tensión por Flexión F'c = 280 kg/cm2 - 0 HORAS

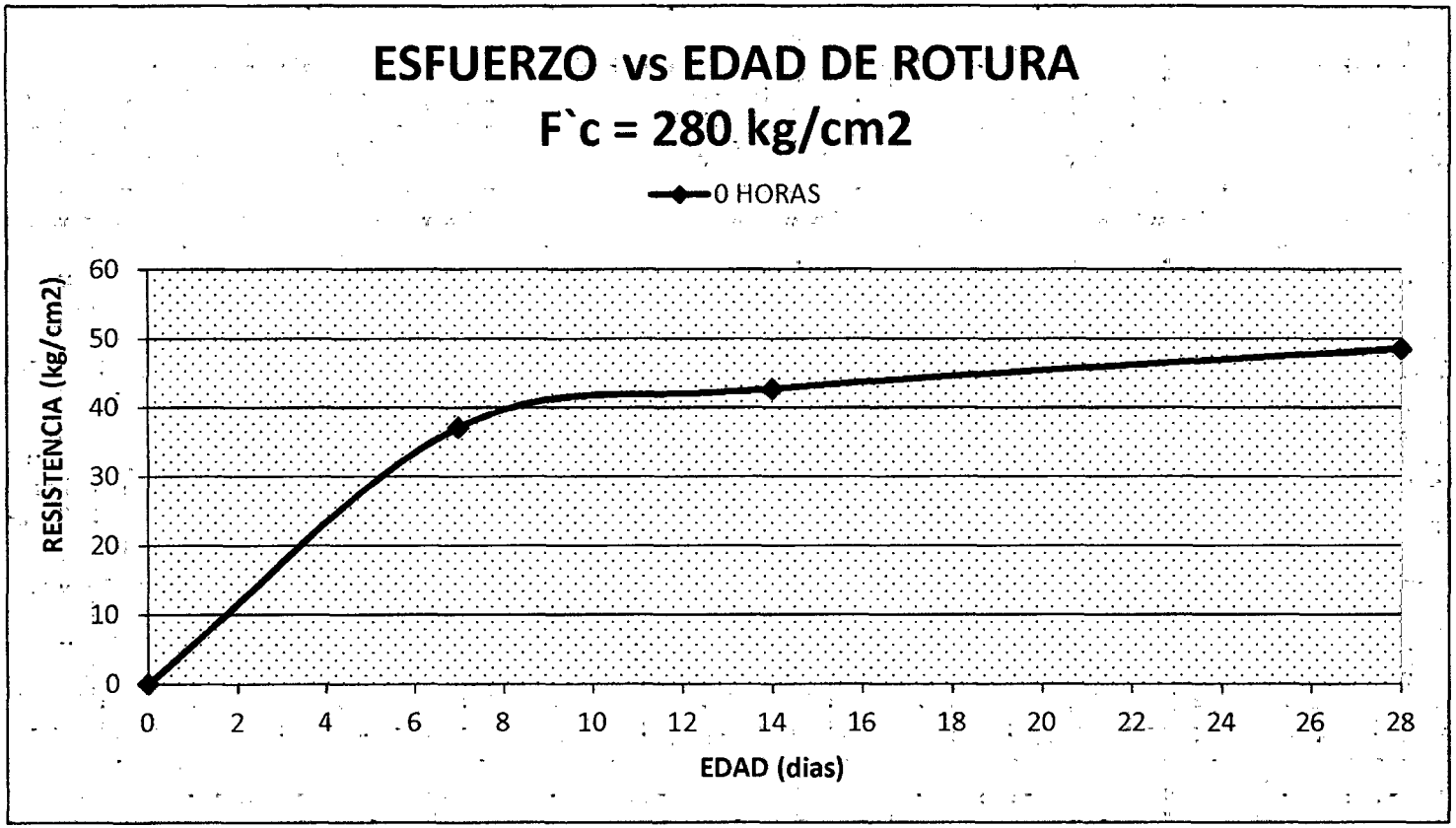


GRAFICO E. 6 Curva de resistencia a la flexión f'c=280kg/cm2 – 0 HORAS

VIGA DE CONCRETO F'c = 280 kg/cm2 – 1 HORA

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2																
Fraguado Inicial 1 horas																
EDAD	CODIGO	BASE			ALTURA			CARGA APLICADA		Longitud (cm)	Ft (kg/cm2)	F`t prom (kg/cm2)	DESVIACION ESTANDAR			F`t ajustado (kg/cm2)
		b1 (cm)	b2 (cm)	b promedio (cm)	d1 (cm)	d2 (cm)	d promedio (cm)	(lbs)	(kg)				x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	V1-07-01	15.10	15.20	15.15	15.30	15.40	15.35	5100	2313.34	60.00	38.88	39.64	-0.76	0.57	0.083	39.56
	V1-07-02	15.20	15.15	15.18	15.25	15.20	15.23	5150	2336.02	60.00	39.85		0.21	0.04		
	V1-07-03	15.00	15.10	15.05	15.25	15.25	15.25	5100	2313.34	60.00	39.66		0.02	0.00		
	V1-07-04	15.10	15.15	15.13	15.25	15.30	15.28	5200	2358.70	60.00	40.10		0.46	0.21		
	V1-07-05	15.15	15.20	15.18	15.30	15.20	15.25	5150	2336.02	60.00	39.72		0.07	0.01		
14 Dias	V1-14-01	15.10	15.15	15.13	15.30	15.35	15.33	5700	2585.50	60.00	43.67	43.41	0.26	0.07	0.021	43.39
	V1-14-02	15.10	15.00	15.05	15.40	15.20	15.30	5650	2562.82	60.00	43.65		0.23	0.05		
	V1-14-03	15.15	15.20	15.18	15.35	15.20	15.28	5620	2549.22	60.00	43.20		-0.22	0.05		
	V1-14-04	15.10	15.15	15.13	15.35	15.40	15.38	5680	2576.43	60.00	43.24		-0.18	0.03		
	V1-14-05	15.15	15.15	15.15	15.40	15.35	15.38	5700	2585.50	60.00	43.32		-0.10	0.01		
28 Dias	V1-28-01	15.20	15.20	15.20	15.25	15.30	15.28	6400	2903.02	60.00	49.11	49.11	0.01	0.00	0.014	49.09
	V1-28-02	15.20	15.10	15.15	15.25	15.20	15.23	6300	2857.66	60.00	48.82		-0.28	0.08		
	V1-28-03	15.20	15.00	15.10	15.30	15.40	15.30	6400	2903.02	60.00	49.28		0.17	0.03		
	V1-28-04	15.10	15.00	15.05	15.30	15.35	15.33	6400	2903.02	60.00	49.28		0.17	0.03		
	V1-28-05	15.20	15.15	15.18	15.30	15.25	15.28	6380	2893.95	60.00	49.04		-0.07	0.00		

TABLA E. 7 Resultado De Ensayo a la Tensión por Flexión F'c = 280 kg/cm2 - 1 HORA

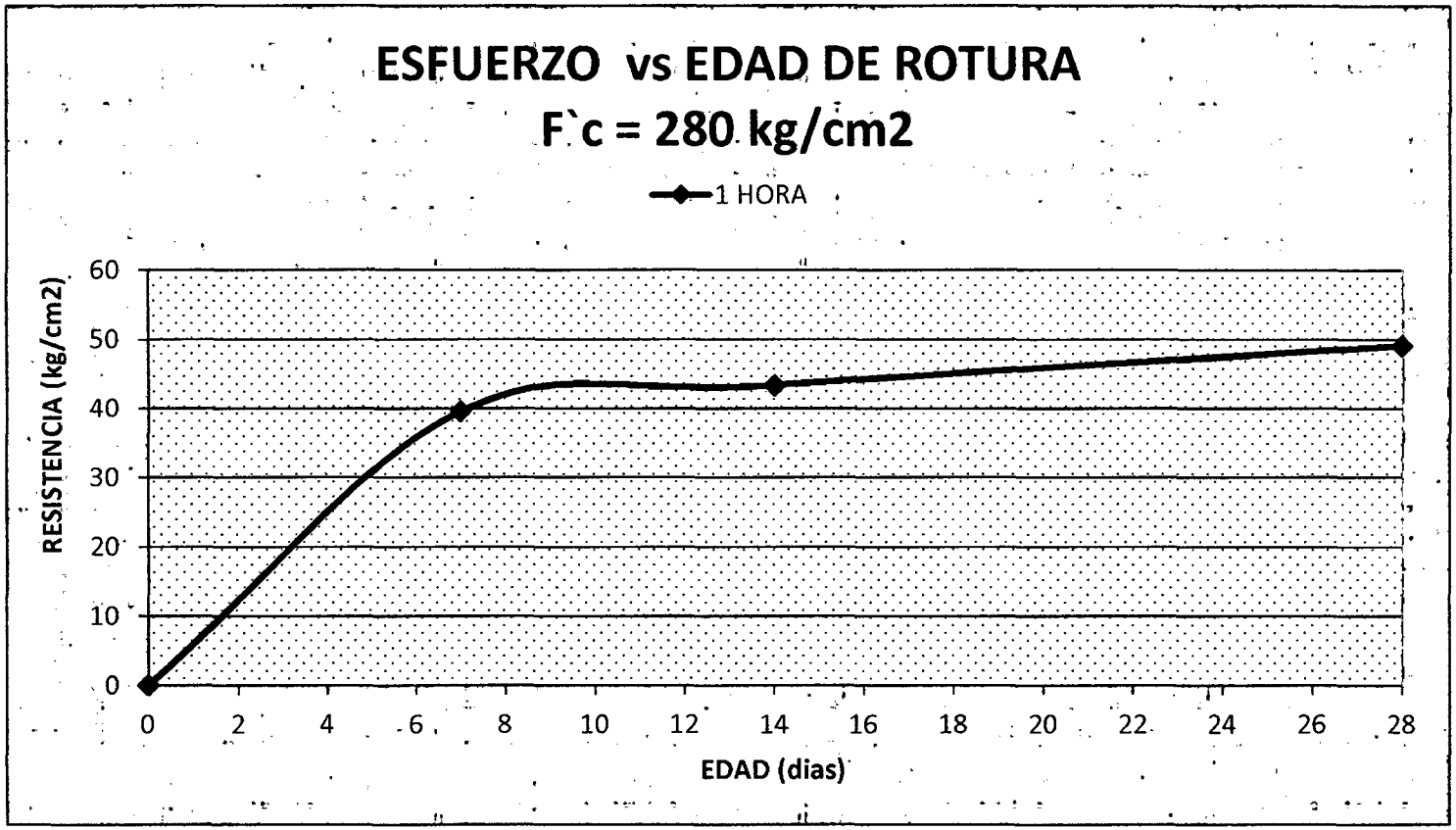


GRAFICO E. 7 Curva de resistencia a la flexión f'c=280kg/cm2 – 1 HORA

VIGA DE CONCRETO F'c = 280 kg/cm2 – 2 HORAS

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2																
Fraguado Inicial 2 horas																
EDAD	CODIGO	BASE			ALTURA			CARGA APLICADA		Longitud (cm)	Ft (kg/cm2)	F`t prom (kg/cm2)	DESVIACION ESTANDAR			F`t ajustado (kg/cm2)
		b1 (cm)	b2 (cm)	b promedio (cm)	d1 (cm)	d2 (cm)	d promedio (cm)	(lbs)	(kg)				x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	V2-07-01	15.25	15.25	15.25	15.35	15.40	15.38	4620	2095.62	60.00	34.88	35.10	-0.22	0.05	0.074	35.03
	V2-07-02	15.10	15.25	15.18	15.30	15.30	15.30	4570	2072.94	60.00	35.01		-0.09	0.01		
	V2-07-03	15.10	15.20	15.15	15.20	15.10	15.15	4580	2077.47	60.00	35.85		0.74	0.55		
	V2-07-04	15.15	15.15	15.15	15.25	15.30	15.28	4550	2063.87	60.00	35.03		-0.07	0.01		
	V2-07-05	15.15	15.00	15.08	15.40	15.35	15.38	4550	2063.87	60.00	34.75		-0.35	0.13		
14 Dias	V2-14-01	15.20	15.25	15.23	15.35	15.40	15.38	4950	2245.31	60.00	37.43	37.86	-0.43	0.18	0.063	37.80
	V2-14-02	15.20	15.10	15.15	15.40	15.30	15.35	4920	2231.70	60.00	37.51		-0.35	0.12		
	V2-14-03	15.10	15.00	15.05	15.30	15.30	15.30	4970	2254.38	60.00	38.39		0.54	0.29		
	V2-14-04	15.10	15.25	15.18	15.35	15.20	15.28	4950	2245.31	60.00	38.05		0.19	0.04		
	V2-14-05	15.15	15.10	15.13	15.40	15.35	15.38	4980	2258.91	60.00	37.91		0.05	0.00		
28 Dias	V2-28-01	15.20	15.25	15.23	15.25	15.30	15.28	5700	2585.50	60.00	43.67	43.62	0.05	0.00	0.134	43.49
	V2-28-02	15.10	15.00	15.05	15.40	15.25	15.33	5600	2540.14	60.00	43.12		-0.50	0.25		
	V2-28-03	15.20	15.10	15.15	15.35	15.40	15.30	5600	2540.14	60.00	42.97		-0.64	0.42		
	V2-28-04	15.10	15.10	15.10	15.30	15.40	15.35	5750	2608.18	60.00	43.98		0.36	0.13		
	V2-28-05	15.20	15.25	15.23	15.30	15.20	15.25	5770	2617.25	60.00	44.35		0.73	0.53		

TABLA E. 8 Resultado De Ensayo a la Tensión por Flexión F'c = 280 kg/cm2 - 2 HORAS

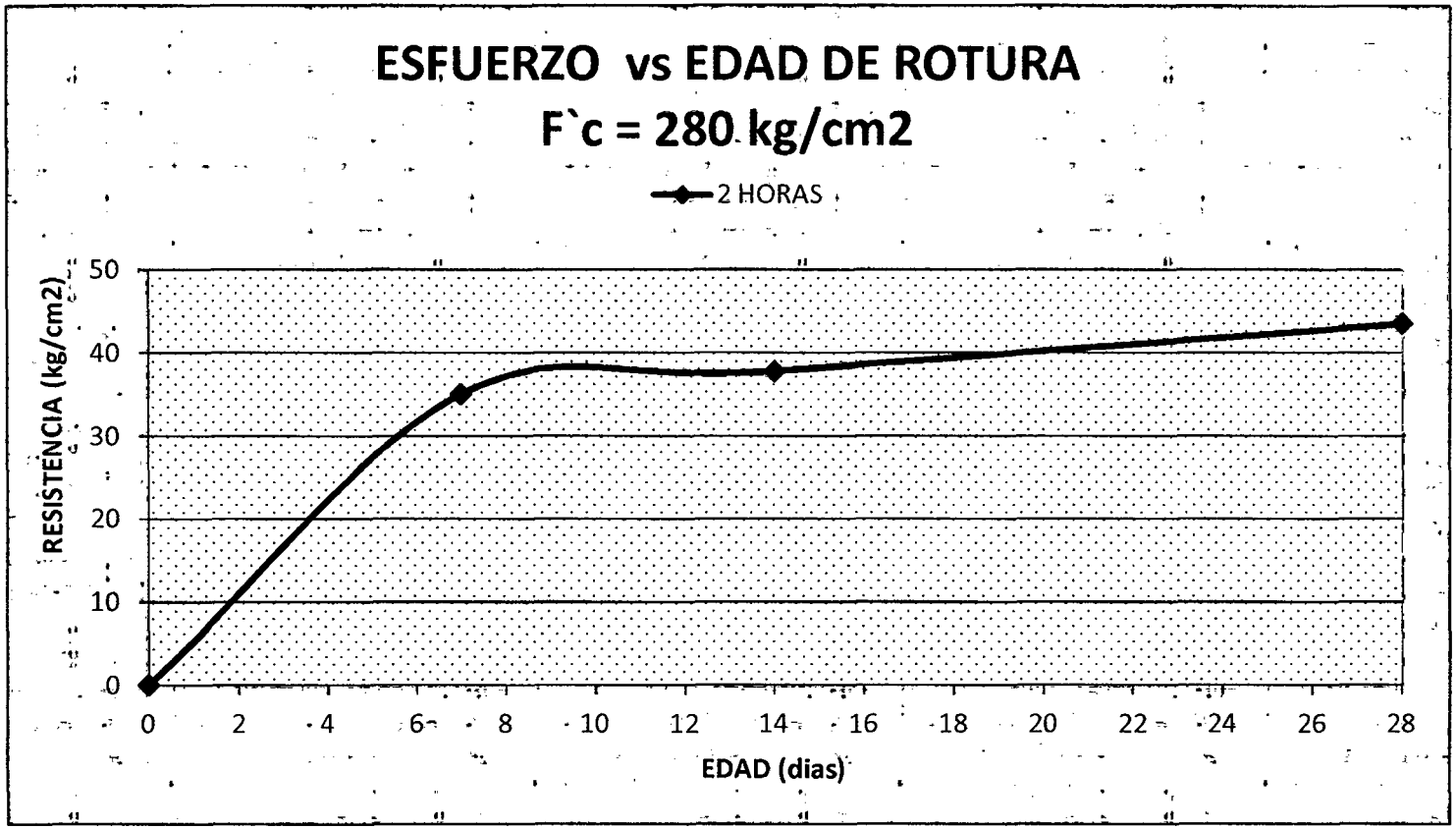


GRAFICO E. 8 Curva de resistencia a la flexión f'c=280kg/cm2 – 2 HORAS

VIGA DE CONCRETO F'c = 280 kg/cm2 – 3 HORAS

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2																
Fraguado Inicial 3 horas																
EDAD	CODIGO	BASE			ALTURA			CARGA APLICADA		Longitud (cm)	Ft (kg/cm2)	F't prom (kg/cm2)	DESVIACION ESTANDAR			F't ajustado (kg/cm2)
		b1 (cm)	b2 (cm)	b promedio (cm)	d1 (cm)	d2 (cm)	d promedio (cm)	(lbs)	(kg)				x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	V3-07-01	15.20	15.30	15.25	15.40	15.25	15.33	4300	1950.47	60.00	32.68	33.45	-0.77	0.60	0.863	32.58
	V3-07-02	15.10	15.20	15.15	15.30	15.25	15.28	4600	2086.55	60.00	35.42		1.97	3.88		
	V3-07-03	15.10	15.00	15.05	15.25	15.30	15.28	4100	1859.75	60.00	31.78		-1.67	2.79		
	V3-07-04	15.20	15.20	15.20	15.25	15.35	15.30	4300	1950.47	60.00	32.89		-0.56	0.31		
	V3-07-05	15.15	15.20	15.18	15.30	15.30	15.30	4500	2041.19	60.00	34.48		1.03	1.06		
14 Dias	V3-14-01	15.10	15.15	15.13	15.30	15.25	15.28	4750	2154.59	60.00	36.63	36.50	0.13	0.02	0.015	36.49
	V3-14-02	15.25	15.15	15.20	15.40	15.30	15.35	4780	2168.19	60.00	36.32		-0.18	0.03		
	V3-14-03	15.20	15.15	15.18	15.30	15.25	15.28	4720	2140.98	60.00	36.28		-0.22	0.05		
	V3-14-04	15.10	15.00	15.05	15.35	15.40	15.38	4800	2177.27	60.00	36.72		0.21	0.05		
	V3-14-05	15.15	15.20	15.18	15.40	15.35	15.38	4820	2186.34	60.00	36.57		0.06	0.00		
28 Dias	V3-28-01	15.20	15.15	15.18	15.25	15.40	15.33	5400	2449.42	60.00	41.24	41.59	-0.36	0.13	0.053	41.54
	V3-28-02	15.10	15.10	15.10	15.30	15.30	15.30	5450	2472.10	60.00	41.96		0.37	0.14		
	V3-28-03	15.20	15.10	15.15	15.30	15.20	15.30	5450	2472.10	60.00	41.82		0.23	0.05		
	V3-28-04	15.10	15.20	15.15	15.40	15.30	15.35	5400	2449.42	60.00	41.17		-0.42	0.18		
	V3-28-05	15.20	15.15	15.18	15.30	15.35	15.33	5470	2481.18	60.00	41.77		0.18	0.03		

TABLA E. 9 Resultado De Ensayo a la Tensión por Flexión F'c = 280 kg/cm2 - 3 HORAS

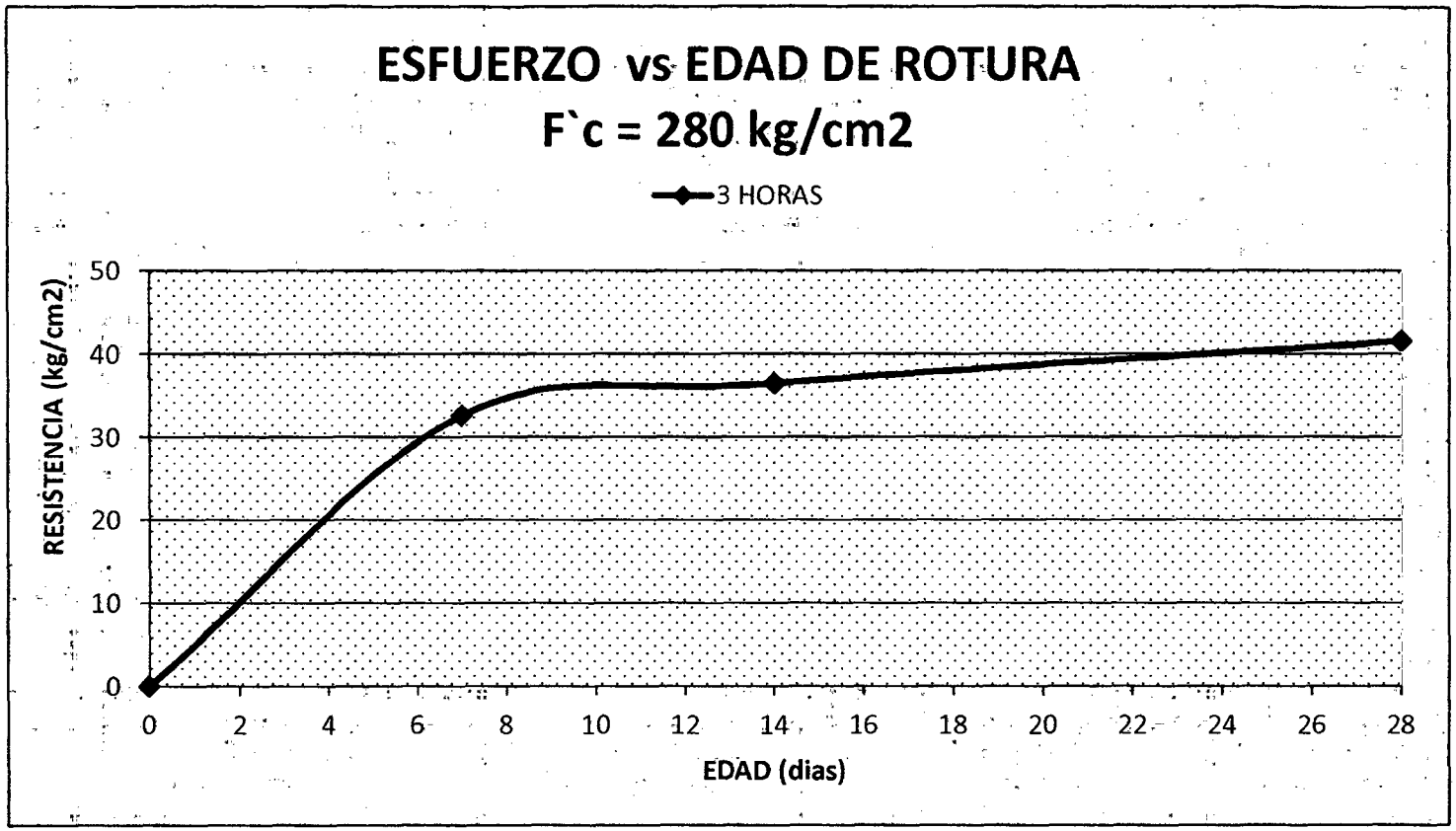


GRAFICO E. 9 Curva de resistencia a la flexión f'c=280kg/cm2 – 3 HORAS

VIGA DE CONCRETO F'c = 280 kg/cm2 – 4 HORAS

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2																
Fraguado Inicial 4 horas																
EDAD	CODIGO	BASE			ALTURA			CARGA APLICADA		Longitud	Ft	F`t prom	DESVIACION ESTANDAR			F`t
		b1 (cm)	b2 (cm)	b promedio (cm)	d1 (cm)	d2 (cm)	d promedio (cm)	(lbs)	(kg)	(cm)	(kg/cm2)	(kg/cm2)	x-xm	(x-xm)2	S	ajustado (kg/cm2)
7 Dias	V4-07-01	15.15	15.10	15.13	15.25	15.30	15.28	4050	1837.07	60.00	31.23	31.51	-0.28	0.08	0.040	31.47
	V4-07-02	15.10	15.00	15.05	15.20	15.25	15.23	4080	1850.68	60.00	31.83		0.32	0.10		
	V4-07-03	15.10	15.00	15.05	15.20	15.30	15.25	4030	1828.00	60.00	31.34		-0.18	0.03		
	V4-07-04	15.10	15.10	15.10	15.25	15.20	15.23	4100	1859.75	60.00	31.88		0.37	0.13		
	V4-07-05	15.20	15.10	15.15	15.20	15.30	15.25	4050	1837.07	60.00	31.28		-0.23	0.05		
14 Dias	V4-14-01	15.10	15.00	15.05	15.35	15.25	15.30	4400	1995.83	60.00	33.99	34.85	-0.86	0.74	0.174	34.68
	V4-14-02	15.20	15.10	15.15	15.30	15.35	15.33	4500	2041.19	60.00	34.42		-0.43	0.19		
	V4-14-03	15.20	15.10	15.15	15.30	15.30	15.30	4600	2086.55	60.00	35.30		0.45	0.20		
	V4-14-04	15.10	15.10	15.10	15.35	15.30	15.33	4550	2063.87	60.00	34.92		0.07	0.00		
	V4-14-05	15.15	15.00	15.08	15.30	15.40	15.35	4650	2109.23	60.00	35.63		0.78	0.60		
28 Dias	V4-28-01	15.10	15.20	15.15	15.25	15.30	15.28	5250	2381.38	60.00	40.42	40.14	0.28	0.08	0.034	40.10
	V4-28-02	15.10	15.15	15.13	15.30	15.25	15.28	5200	2358.70	60.00	40.10		-0.04	0.00		
	V4-28-03	15.20	15.10	15.15	15.30	15.25	15.30	5270	2390.46	60.00	40.44		0.30	0.09		
	V4-28-04	15.10	15.00	15.05	15.40	15.35	15.38	5200	2358.70	60.00	39.78		-0.36	0.13		
	V4-28-05	15.10	15.15	15.13	15.30	15.25	15.28	5180	2349.63	60.00	39.95		-0.19	0.04		

TABLA E. 10 Resultado De Ensayo a la Tensión por Flexión F'c = 280 kg/cm2 - 4 HORAS

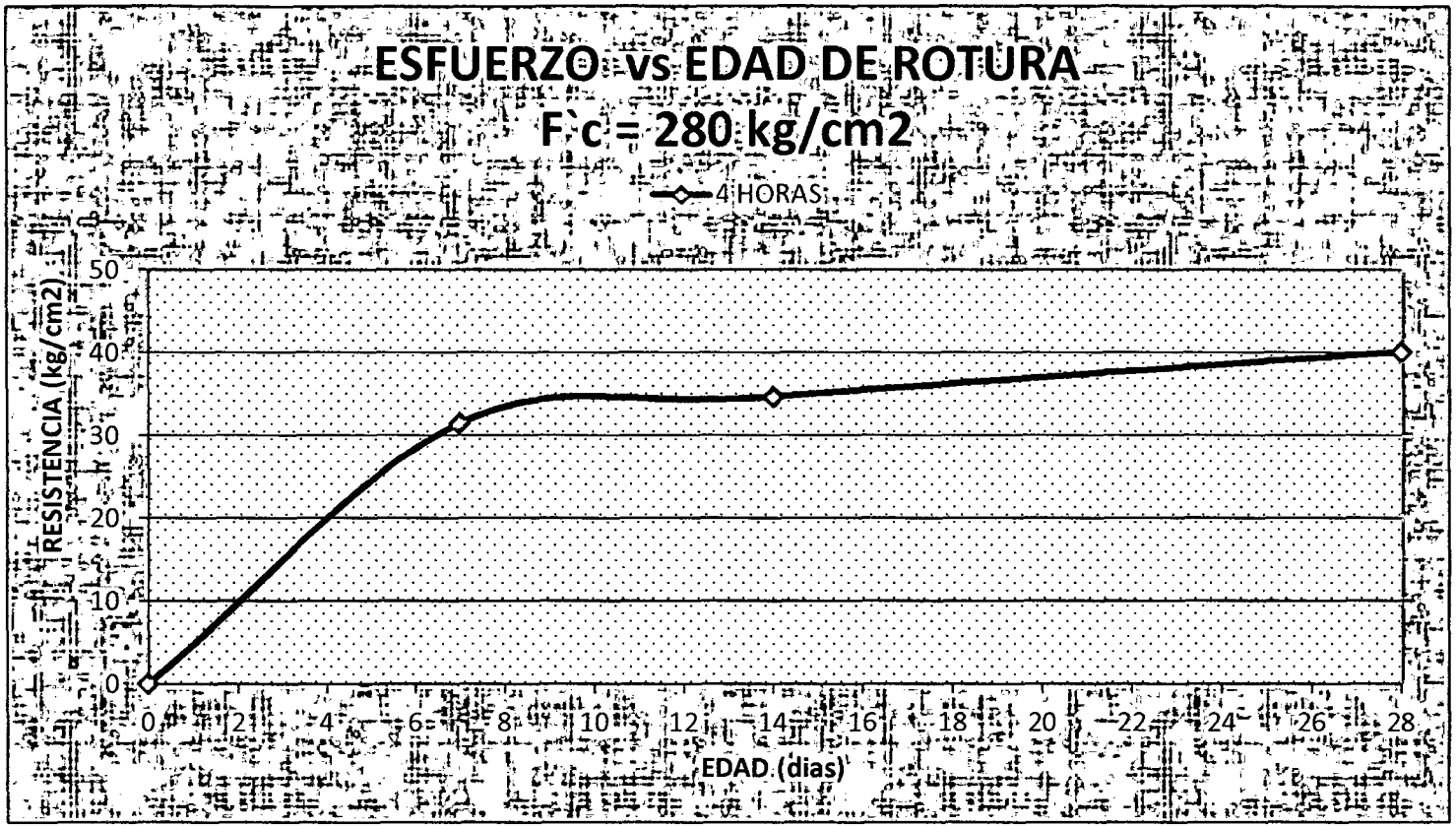


GRAFICO E. 10 Curva de resistencia a la flexión f'c=280kg/cm2 – 4 HORAS

RESUMEN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN F'c=210kg/cm2

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION F'c=210 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	34.78	37.16	34.38	30.60	28.58
14	39.42	42.61	37.03	33.55	30.86
28	43.87	44.42	41.78	38.74	35.52

TABLA E. 11 Resumen del ensayo de resistencia a la flexión f'c=210kg/cm2

CURVAS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN F'c=210kg/cm2

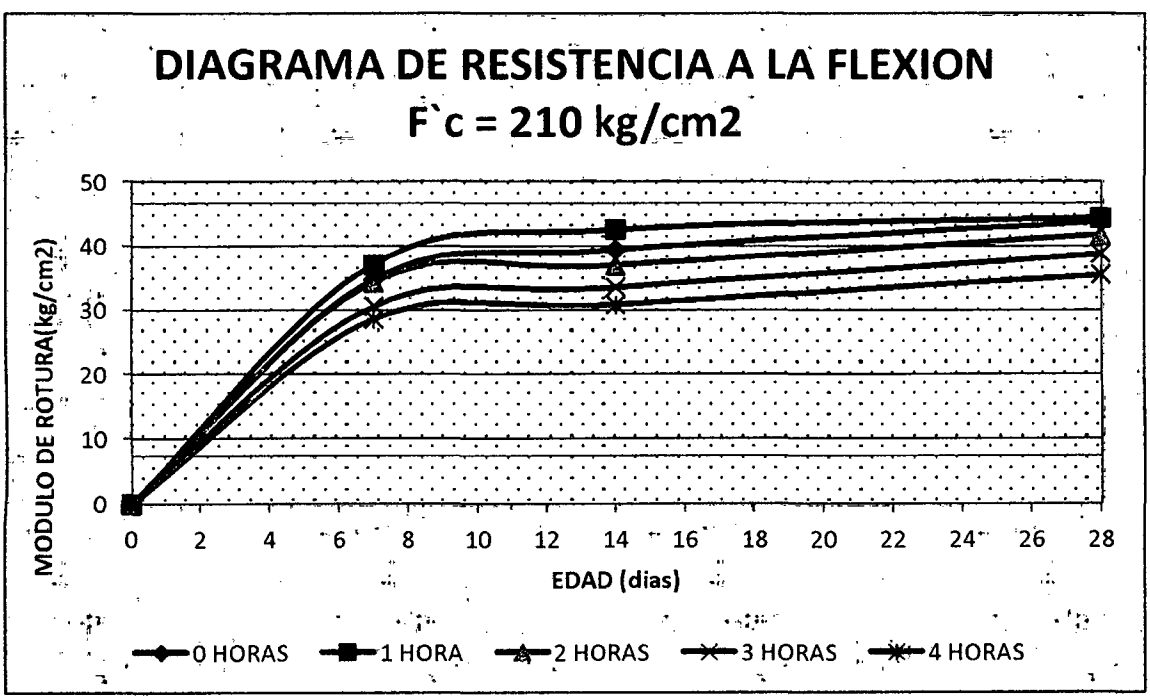


GRAFICO E. 11 Curvas de resistencia a la flexión f'c=210kg/cm2

BARRAS ESFUERZO VS EDAD DE ROTURA - FLEXION
F'c=210kg/cm2

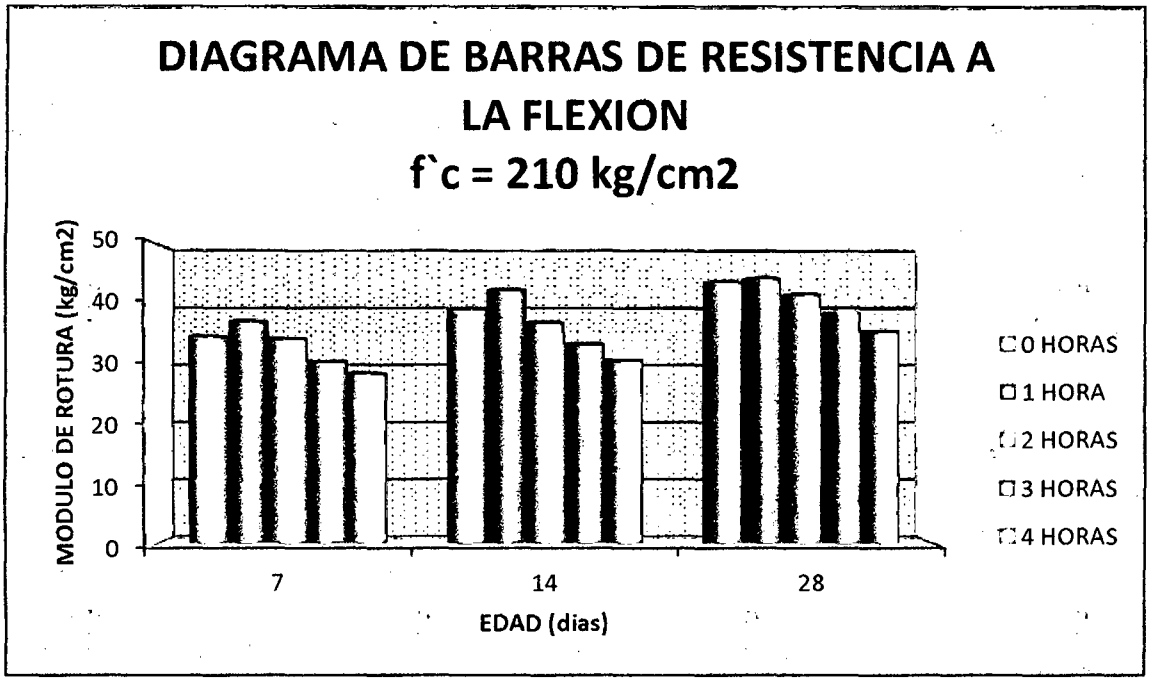


GRAFICO E. 12 Barras de resistencia a la flexión f'c=210kg/cm2

COMPARACION EN PORCENTAJE DE RESISTENCIA A LA TENSION POR FLEXION F'c=210kg/cm2

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION F'c=210 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	100%	107%	99%	88%	82%
14	100%	108%	94%	85%	78%
28	100%	101%	95%	88%	81%

TABLA E. 12 Comparación en Porcentaje de Resistencia a la Tensión por Flexión F'c=210kg/cm2

RESUMEN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TENSION POR FLEXIÓN F'c=280kg/cm2

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION F'c=280 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	37.03	39.56	35.03	32.58	31.47
14	42.71	43.39	37.80	36.49	34.68
28	48.52	49.09	43.49	41.54	40.10

TABLA E. 13 Resumen del ensayo de resistencia a la flexión f'c=280kg/cm2

CURVAS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN F'c=280kg/cm2

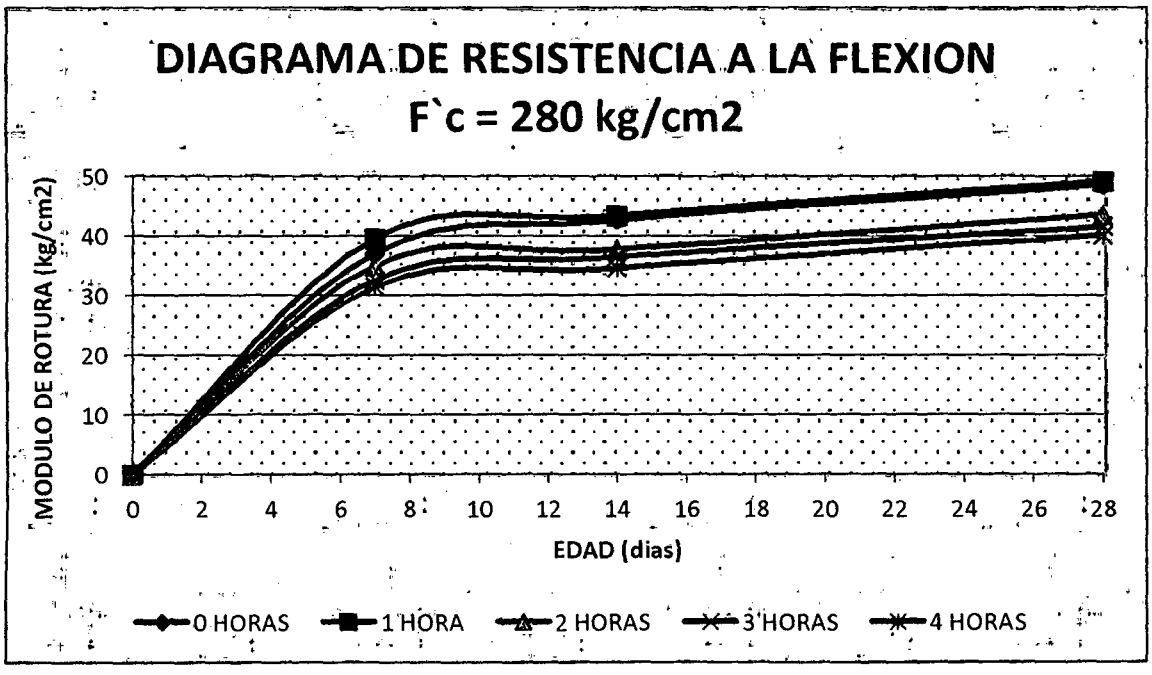


GRAFICO E. 13 Curvas de resistencia a la flexión f'c=280kg/cm2

BARRAS ESFUERZO VS EDAD DE ROTURA - FLEXION
F'c=280kg/cm2

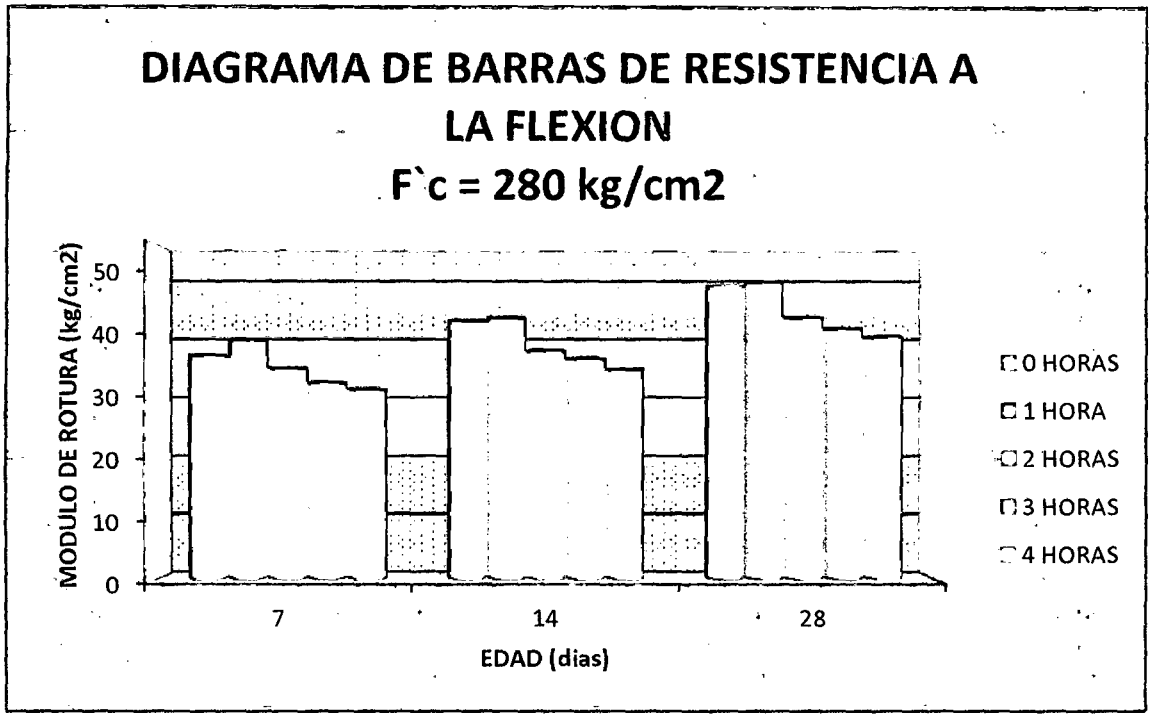


GRAFICO E. 14 Barras de resistencia a la flexión f'c=280kg/cm2

COMPARACION EN PORCENTAJE DE RESISTENCIA A LA TENSION POR FLEXION F'c=280kg/cm2

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION F'c=280 kg/cm2					
EDAD (Dias)	0 HORAS kg/cm2	1 HORAS kg/cm2	2 HORAS kg/cm2	3 HORAS kg/cm2	4 HORAS kg/cm2
7	100%	107%	95%	88%	85%
14	100%	102%	88%	85%	81%
28	100%	101%	90%	86%	83%

TABLA E. 14 Comparación en Porcentaje de Resistencia a la Tensión por Flexión F'c=280kg/cm2

EDAD (Dias)	0 HORAS		1 HORAS		2 HORAS		3 HORAS		4 HORAS	
	RF kg/cm2	RF teorico kg/cm2	RF kg/cm2	RF teorico kg/cm2	RF kg/cm2	RF teorico kg/cm2	RF kg/cm2	RF teorico kg/cm2	RF kg/cm2	RF teorico kg/cm2
7	34.78	28.35	37.16	29.12	34.38	27.23	30.60	26.65	28.58	24.67
14	39.42	31.77	42.61	32.03	37.03	29.58	33.55	29.21	30.86	26.65
28	43.87	33.73	44.42	32.43	41.78	31.62	38.74	30.34	35.52	29.74

TABLA E. 15 Comparación Resistencia a la Flexión Calculada y Resistencia a la Flexión Teórico - F'c=210kg/cm2

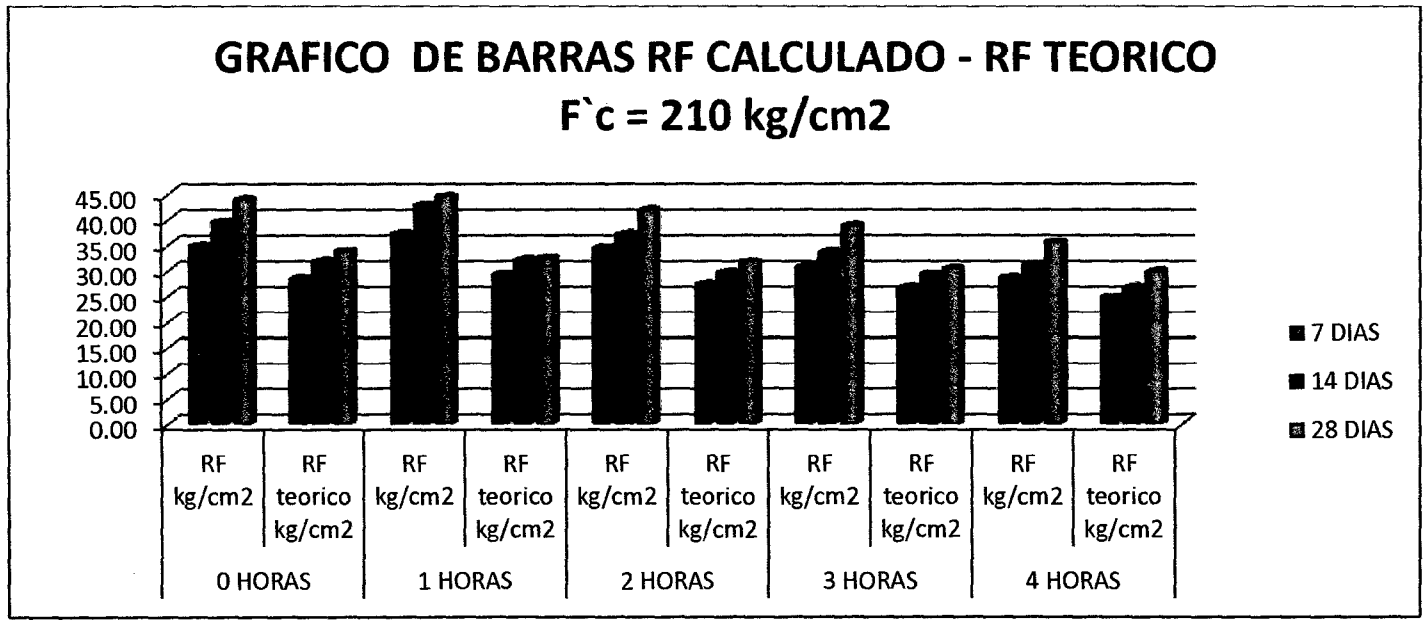


GRAFICO E. 15 Grafico de barras Resistencia a la Flexión Calculada y Resistencia a la Flexión Teórico - F'c=210kg/cm2

EDAD (Dias)	0 HORAS		1 HORAS		2 HORAS		3 HORAS		4 HORAS	
	RF kg/cm2	RF teorico kg/cm2	RF kg/cm2	RF teorico kg/cm2	RF kg/cm2	RF teorico kg/cm2	RF kg/cm2	RF teorico kg/cm2	RF kg/cm2	RF teorico kg/cm2
7	37.03	31.80	39.56	32.31	35.03	30.58	32.58	26.75	31.47	26.24
14	42.71	35.19	43.39	35.59	37.80	34.33	36.49	33.42	34.68	30.97
28	48.52	37.93	49.09	37.79	43.49	36.59	41.54	34.82	40.10	33.46

TABLA E. 16TABLA E. 15 Comparación Resistencia a la Flexión Calculada y Resistencia a la Flexión Teórico - F'c=280kg/cm2

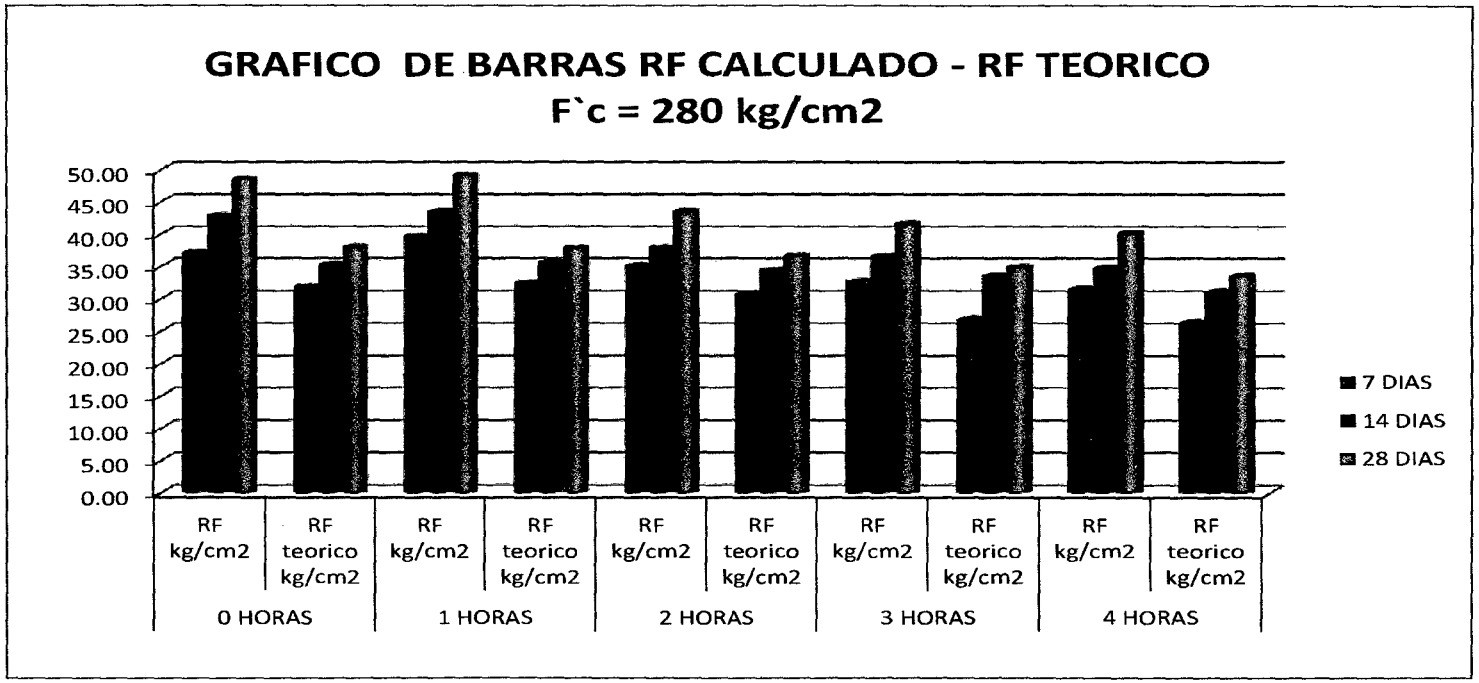


TABLA E. 17 Grafico de barras Resistencia a la Flexión Calculada y Resistencia a la Flexión Teórico - F'c=280kg/cm2

ANEXO F

RESISTENCIA A LA COMPRESION EN FUNCION DE LA RELACION A/C

RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE ENSAYO A COMPRESION

F'c = 210 kg/cm2 - a/c = 0.59

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2														
a/c = 0.59														
EDAD	CODIGO	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Dprom (cm)	Area (cm2)	Carga (lbs)	Carga (kgf)	f'c (kgf/cm2)	f'c promedio	DESVIACION ESTANDAR			F`t ajustado (kg/cm2)
											x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	P0-07-01	15.10	15.00	14.69	**14.93**	175.07	75500.00	34246.58	195.62	193.17	2.44	5.98	2.99	190.18
	P0-07-02	15.55	15.43	15.42	**15.47**	187.88	79000.00	35834.16	190.73		-2.44	5.98		
	P0-07-03	15.40	15.45	15.44	**15.43**	186.99	78500.00	35607.37	190.42		-2.75	7.56		
14 Dias	P0-14-01	15.00	15.30	15.54	**15.28**	183.37	91000.00	41277.33	225.10	223.99	1.11	1.23	0.62	223.37
	P0-14-02	15.47	15.51	15.34	**15.44**	187.23	92000.00	41730.93	222.88		-1.11	1.23		
	P0-14-03	15.35	15.30	15.33	**15.33**	184.50	91000.00	41277.33	223.73		-0.26	0.07		
28 Dias	P0-28-01	15.17	15.20	15.25	**15.21**	181.62	98000.00	44452.51	244.76	245.55	-0.79	0.62	0.31	245.24
	P0-28-02	14.94	15.00	14.95	**14.96**	175.85	95500.00	43318.52	246.33		0.79	0.62		
	P0-28-03	15.30	15.20	15.25	**15.25**	182.65	99000.00	44906.11	245.85		0.31	0.09		

TABLA F. 1 Resultado De Ensayo a la Compresion F'c = 210 kg/cm2 – a/c= 0.59

F'c = 210 kg/cm2 - a/c = 0.68

CONCRETO f´c = 210 kgf/cm2													
a/c = 0.68													
EDAD	CODIGO	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Dprom (cm)	Area (cm2)	Carga (lbs)	Carga (kgf)	f'c (kgf/cm2)	f'c promedio	DESVIACION ESTANDAR			F`t ajustado (kg/cm2)
											x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	P0-07-01	15.20	15.38	15.27	**15.28**	183.45	60000.00	27215.82	148.35	148.68	-0.33	0.11	0.05	148.62
	P0-07-02	15.20	15.44	15.30	**15.31**	184.17	60500.00	27442.62	149.00		0.33	0.11		
	P0-07-03	15.10	15.15	15.15	**15.13**	179.87	59000.00	26762.22	148.79		0.11	0.01		
14 Dias	P0-14-01	15.22	15.36	15.40	**15.33**	184.50	71000.00	32205.39	174.56	173.82	0.74	0.55	0.27	173.54
	P0-14-02	15.22	15.25	15.38	**15.28**	183.45	70000.00	31751.79	173.08		-0.74	0.55		
	P0-14-03	15.30	15.35	15.40	**15.35**	185.06	70800.00	32114.67	173.54		-0.28	0.08		
28 Dias	P0-28-01	15.44	15.50	15.45	**15.46**	187.80	80000.00	36287.76	193.22	193.89	-0.66	0.44	0.22	193.67
	P0-28-02	15.50	15.53	15.49	**15.51**	188.85	81000.00	36741.36	194.55		0.66	0.44		
	P0-28-03	15.30	15.24	15.25	**15.26**	182.97	78000.00	35380.57	193.36		-52.18	2723.04		

TABLA F. 2Resultado De Ensayo a la Compresion F'c = 210 kg/cm2 – a/c= 0.68

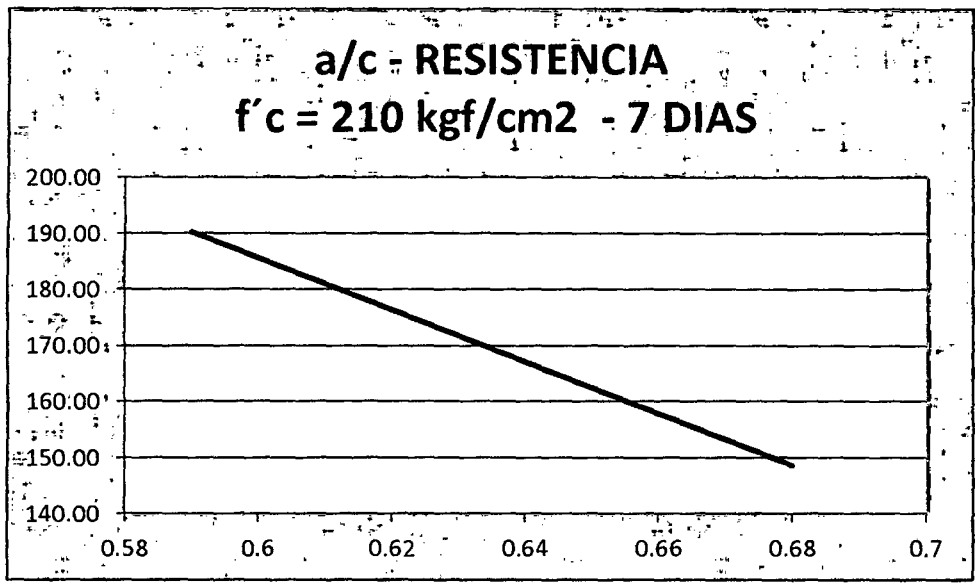


GRAFICO F. 1 Recta de resistencia a la compresión F'c = 280 kg/cm2, para diferentes a/c – 7 dias

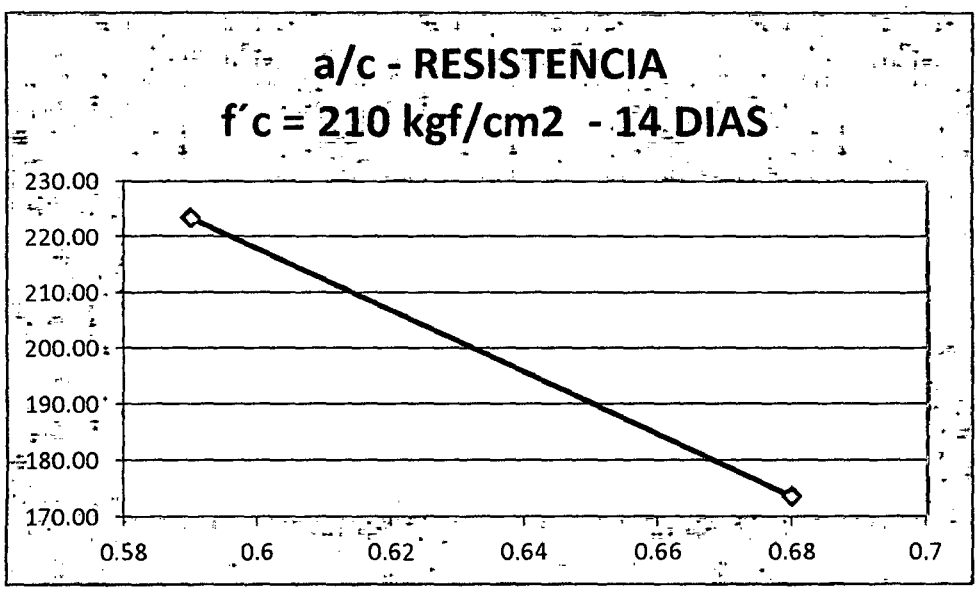


GRAFICO F. 2 Recta de resistencia a la compresión F'c = 280 kg/cm2, para diferentes a/c – 14 dias

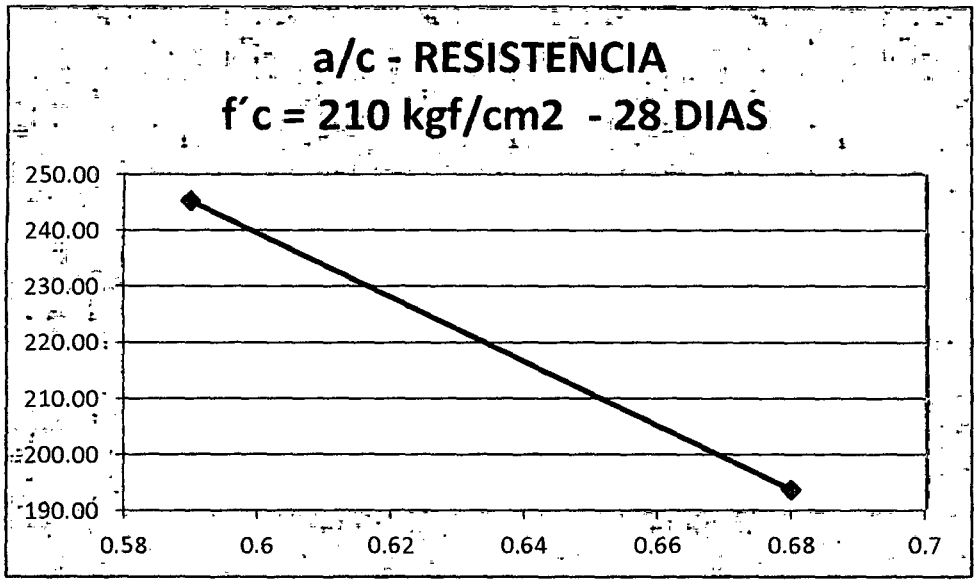


GRAFICO F. 3 Recta de resistencia a la compresión F'c = 280 kg/cm2, para diferentes a/c –28 dias

Resistencia a la compresión [Kg/cm2]			
a/c	Dias de curado		
	7	14	28
0.59	201.00	252.41	284.50
0.60	190.18	230.10	245.24
0.68	148.62	173.54	193.67

TABLA F. 3 Resistencias a la compresión para diferentes relaciones a/c f'c=210kg/cm2

Comparación en porcentaje de Resistencias a la Compresión			
a/c	Dias de curado		
	7	14	28
0.59	100%	100%	100%
0.60	95%	91%	86%
0.68	74%	69%	68%

TABLA F. 4 Comparación de resistencias a la compresión en porcentaje f'c=210kg/cm2

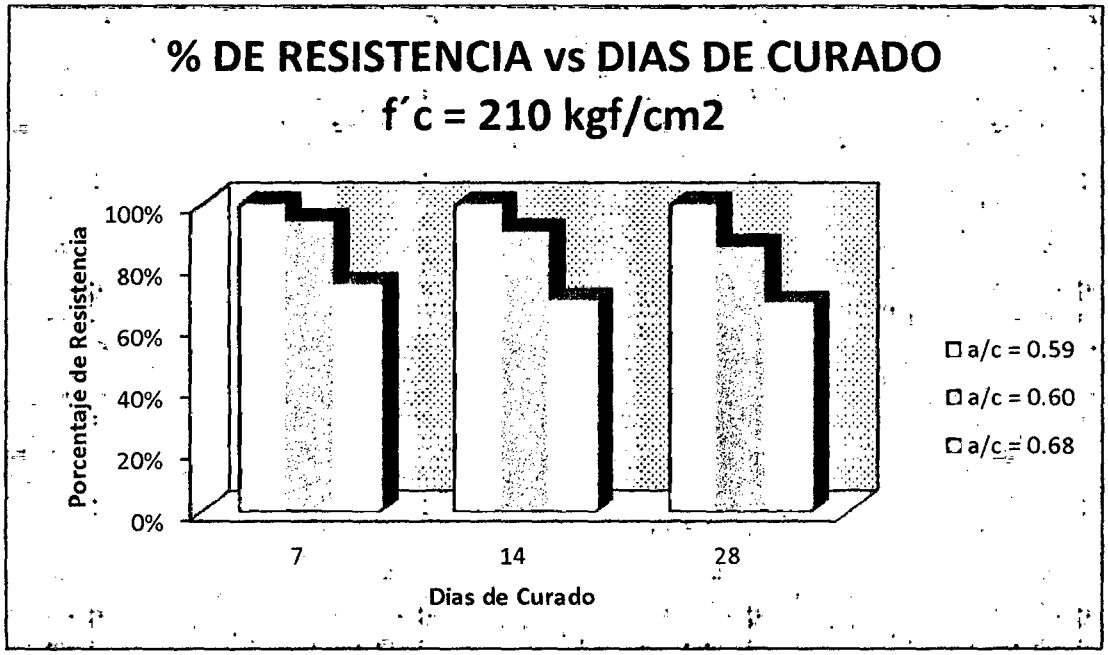


GRAFICO F. 4 Barras de resistencias a la compresión en porcentajes f'c=210kg/cm2

RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE ENSAYO A COMPRESION

F'c = 280 kg/cm2 - a/c = 0.49

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2														
a/c = 0.49														
EDAD	CODIGO	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Dprom (cm)	Area (cm2)	Carga (lbs)	Carga (kgf)	f'c (kgf/cm2)	f'c promedio	DESVIACION ESTANDAR			F`t ajustado (kg/cm2)
											x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	P0-07-01	15.47	15.16	15.20	**15.28**	183.29	99500.00	45132.90	246.23	247.45	-1.21	1.48	0.74	246.71
	P0-07-02	15.16	15.27	15.29	**15.24**	182.42	100000.00	45359.70	248.66		1.21	1.48		
	P0-07-03	15.30	15.24	15.35	**15.30**	183.77	100400.00	45541.14	247.81		0.36	0.13		
14 Dias	P0-14-01	15.39	15.43	15.28	**15.37**	185.46	124500.00	56472.83	304.50	306.11	-1.61	2.60	1.30	304.81
	P0-14-02	15.44	15.20	15.31	**15.32**	184.26	125000.00	56699.63	307.72		1.61	2.60		
	P0-14-03	15.30	15.35	15.33	**15.33**	184.50	124800.00	56608.91	306.83		0.72	0.52		
28 Dias	P0-28-01	15.15	15.25	15.20	**15.20**	181.46	140200.00	63594.30	350.46	348.55	1.91	3.66	1.83	346.72
	P0-28-02	15.32	15.28	15.30	**15.30**	183.85	140500.00	63730.38	346.64		-1.91	3.66		
	P0-28-03	15.15	15.20	15.30	**15.22**	181.86	139800.00	63412.86	348.70		0.15	0.02		

TABLA F. 5 Resultado De Ensayo a la Compresion F'c = 280 kg/cm2 – a/c= 0.49

F'c = 280 kg/cm2 - a/c = 0.59

CONCRETO f´c = 280 kgf/cm2														
a/c = 0.57														
EDAD	CODIGO	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Dprom (cm)	Area (cm2)	Carga (lbs)	Carga (kgf)	f'c (kgf/cm2)	f'c promedio	DESVIACION ESTANDAR			F`t ajustado (kg/cm2)
											x-xm	(x-xm)2	S	
7 Dias	P0-07-01	15.35	15.40	15.18	**15.31**	184.09	79000.00	35834.16	194.65	197.32	-2.67	7.15	3.57	193.75
	P0-07-02	15.20	15.24	15.30	**15.25**	182.57	80500.00	36514.56	200.00		2.67	7.15		
	P0-07-03	15.15	15.20	15.25	**15.20**	181.46	79000.00	35834.16	197.48		-49.97	2496.90		
14 Dias	P0-14-01	15.44	15.25	15.34	**15.34**	184.90	94000.00	42638.12	230.60	228.69	1.92	3.68	1.84	226.85
	P0-14-02	15.40	15.40	15.37	**15.39**	186.02	93000.00	42184.52	226.77		-1.92	3.68		
	P0-14-03	15.41	15.43	15.44	**15.43**	186.91	94000.00	42638.12	228.12		-77.99	6082.86		
28 Dias	P0-28-01	15.41	15.45	15.43	**15.43**	186.99	104000.00	47174.09	252.28	250.82	1.46	2.13	1.06	249.76
	P0-28-02	15.34	15.37	15.40	**15.37**	185.54	102000.00	46266.90	249.36		-1.46	2.13		
	P0-28-03	15.30	15.35	15.40	**15.35**	185.06	102000.00	46266.90	250.01		-98.54	9709.20		

TABLA F. 6 Resultado De Ensayo a la Compresion F'c = 280 kg/cm2 – a/c= 0.57

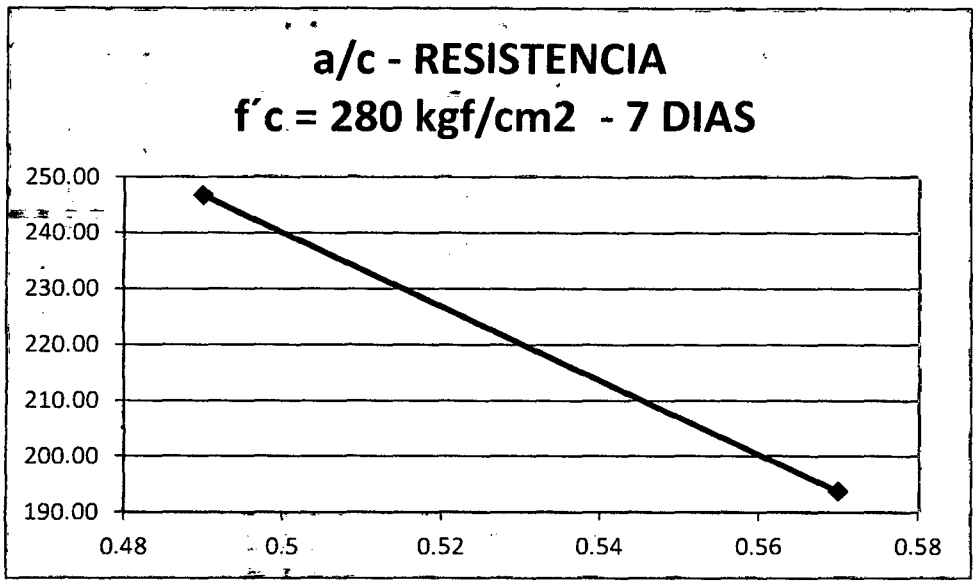


GRAFICO F. 5 Recta de resistencia a la compresión F'c = 280 kg/cm2, para diferentes a/c – 7 dias

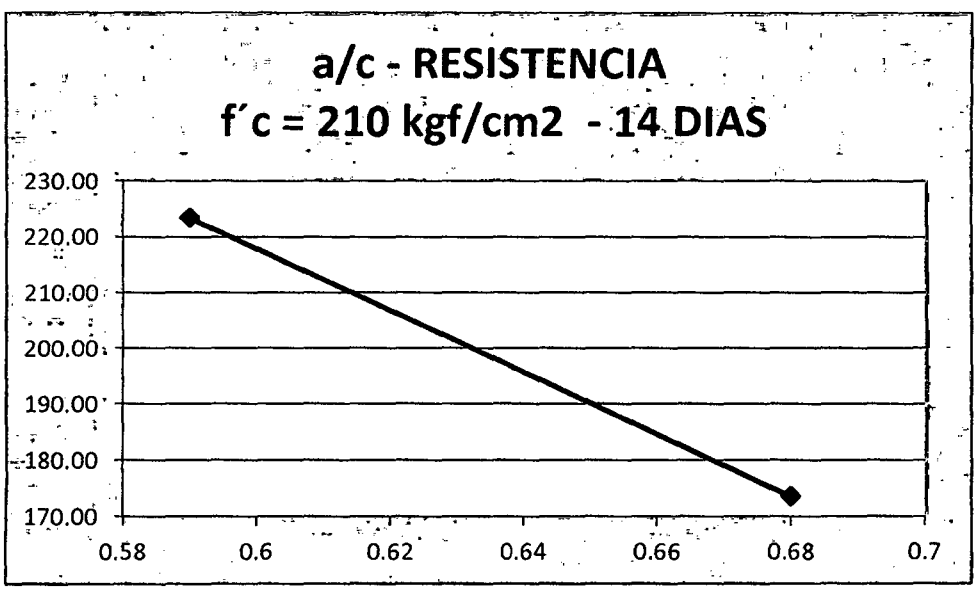


GRAFICO F. 6 Recta de resistencia a la compresión F'c = 280 kg/cm2, para diferentes a/c – 14 dias

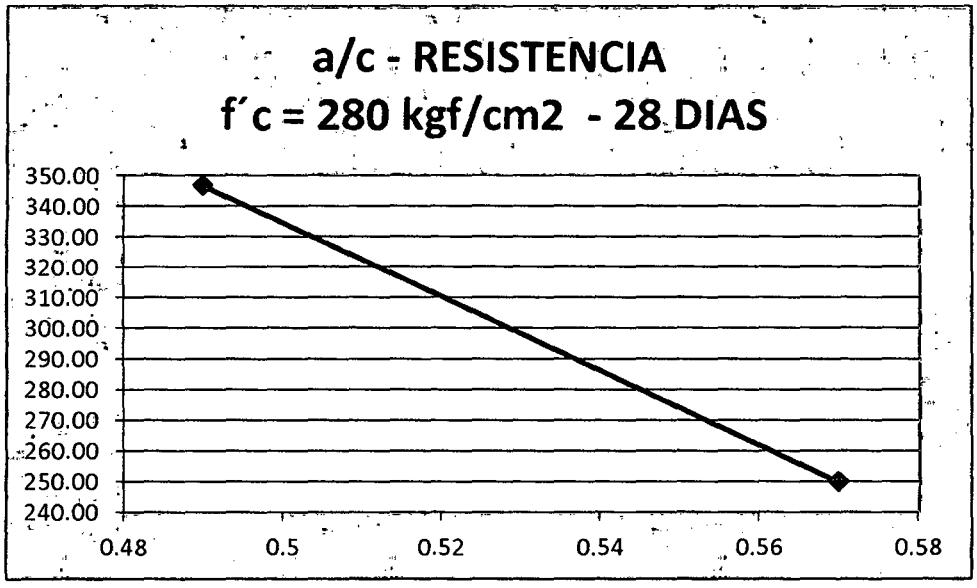


GRAFICO F. 7 Recta de resistencia a la compresión F'c = 280 kg/cm2, para diferentes a/c – 28 dias

Resistencia a la compresión [Kg/cm2]			
a/c	Dias de curado		
	7	14	28
0.49	252.81	309.50	359.62
0.50	246.71	304.81	346.72
0.57	193.75	226.85	249.76

TABLA F. 7 Resistencias a la compresión para diferentes relaciones a/c f'c=280kg/cm2

Comparación en porcentaje de Resistencias a la Compresión			
a/c	Dias de curado		
	7	14	28
0.49	100%	100%	100%
0.50	98%	98%	96%
0.57	77%	73%	69%

TABLA F. 8 Comparación de resistencias a la compresión en porcentaje f'c=210kg/cm2

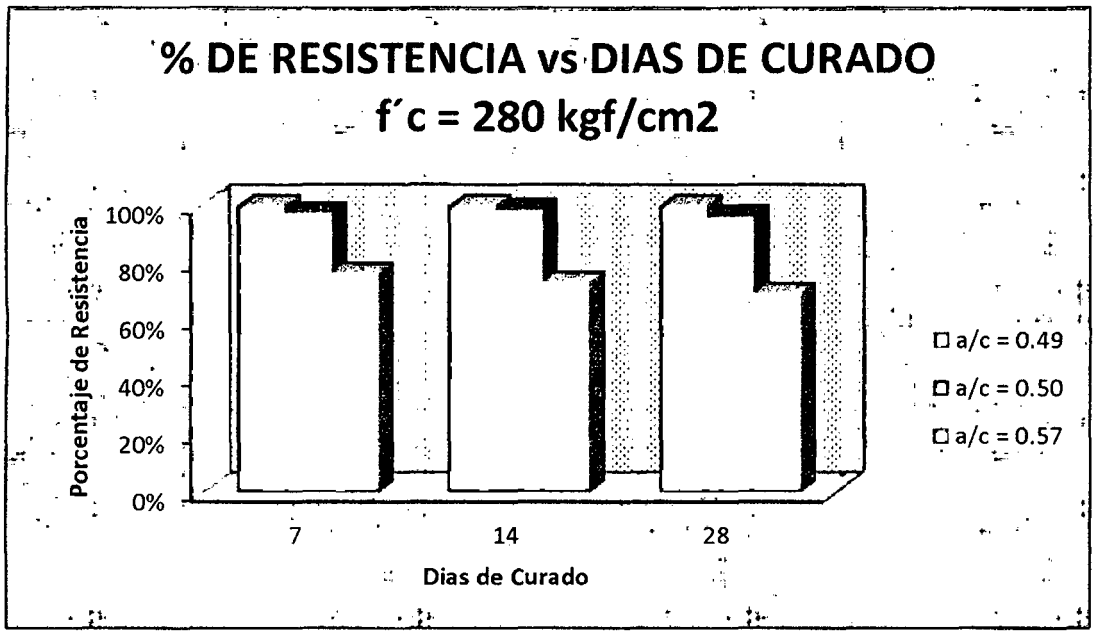


GRAFICO F. 8 Barras de resistencias a la compresión en porcentajes f'c=280kg/cm2

ANEXO G

MEMORIA FOTOGRAFICA

GRAFICO G. 1 Pesado del Agregado Grueso

GRAFICO G. 2 Granulometría del Agregado Fino

GRAFICO G. 3 Peso Específico del Agregado Fino

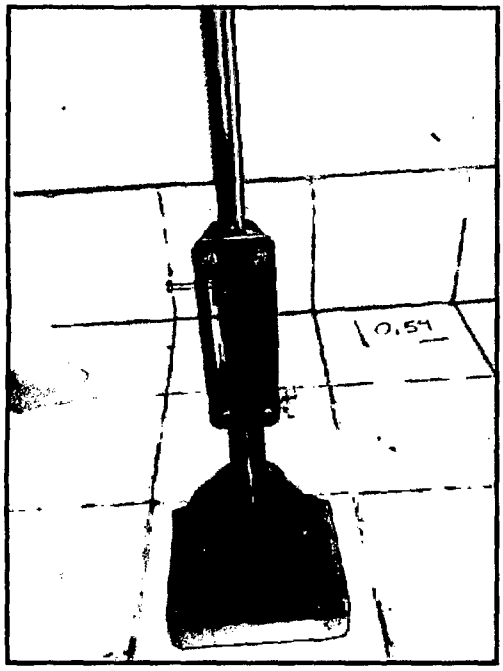


GRAFICO G. 4 Ensayo de la Aguja de Vicat

GRAFICO G. 5 Ensayo de la Maquina de los Angeles

GRAFICO G. 6 Colocado de Material a la Mezcladora

GRAFICO G. 7 Medida del Asentamiento

GRAFICO G. 8 Llenado de Probetas

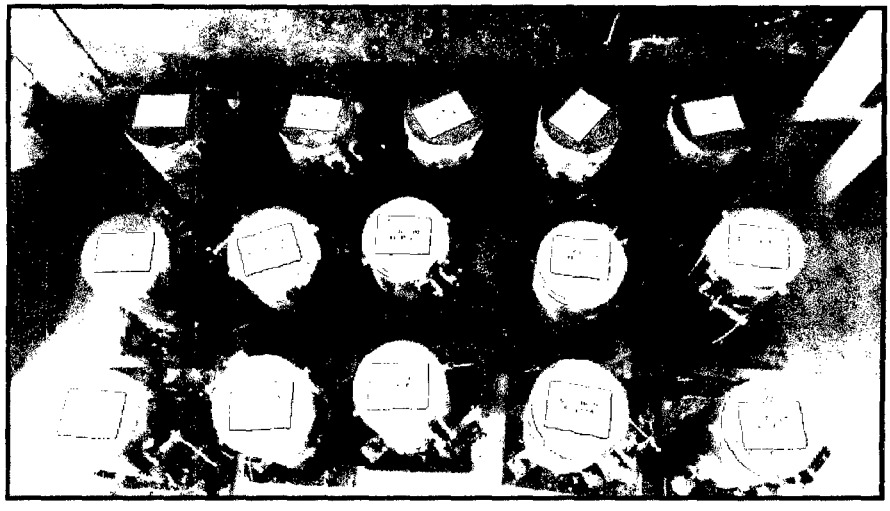


GRAFICO G. 9 Probetas Llenadas de Concreto y Rotuladas

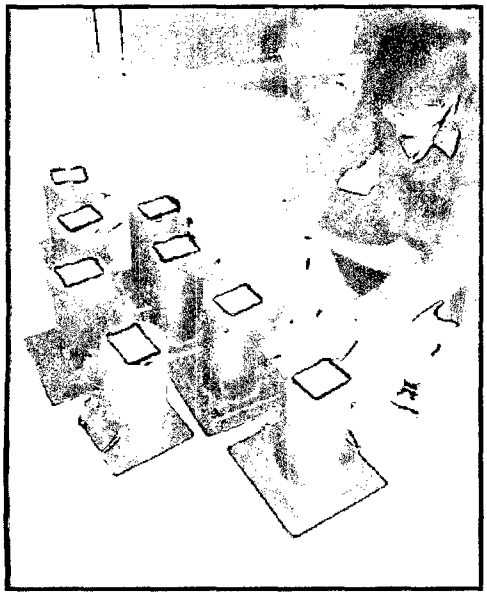


GRAFICO G. 10 Desmoldado de Probetas

GRAFICO G. 11 Probetas listas para ser Ensayadas

GRAFICO G. 12 Ensayo de Compresion

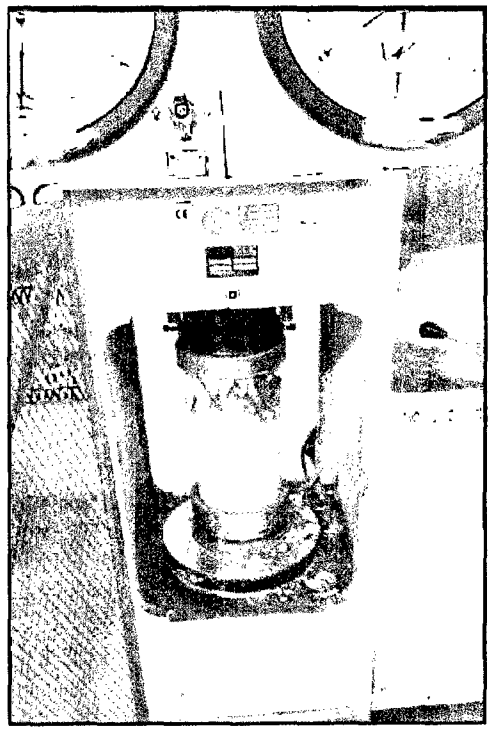


GRAFICO G. 13 Probeta Ensayada a Compresion

GRAFICO G. 14 Probetas Ensayadas

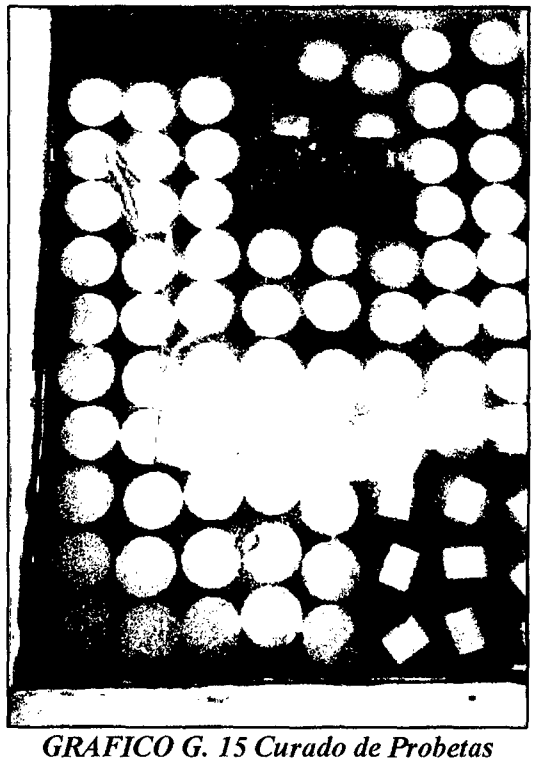


GRAFICO G. 15 Curado de Probetas

GRAFICO G. 16 Moldes de Vigas

GRAFICO G. 17 Llenado de Vigas con Concreto

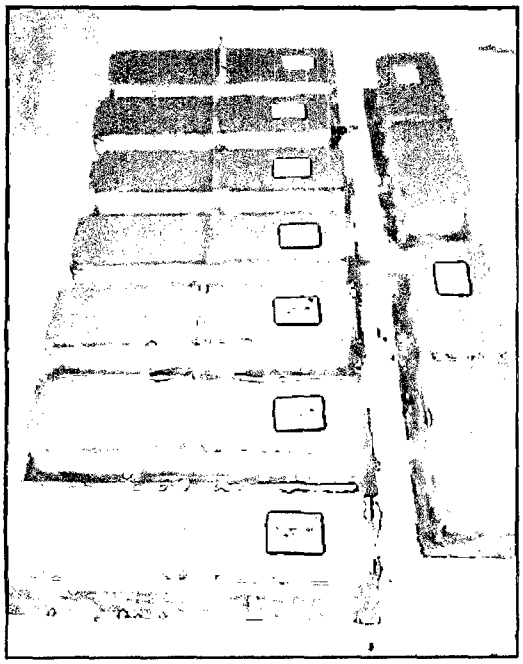


GRAFICO G. 18 Vigas Llenas de Concreto y Rotuladas

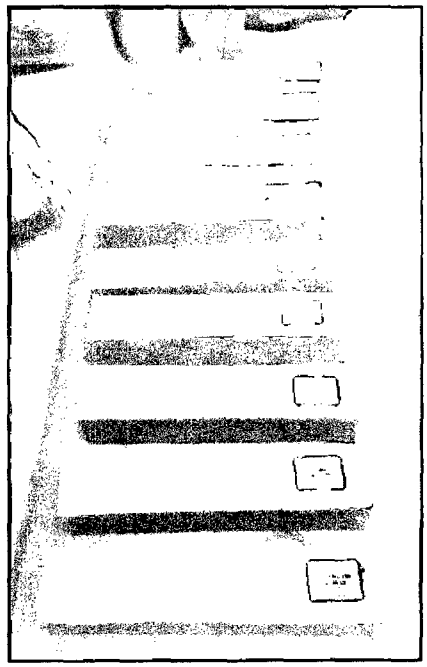


GRAFICO G. 19 Vigas listas para ser Ensayadas

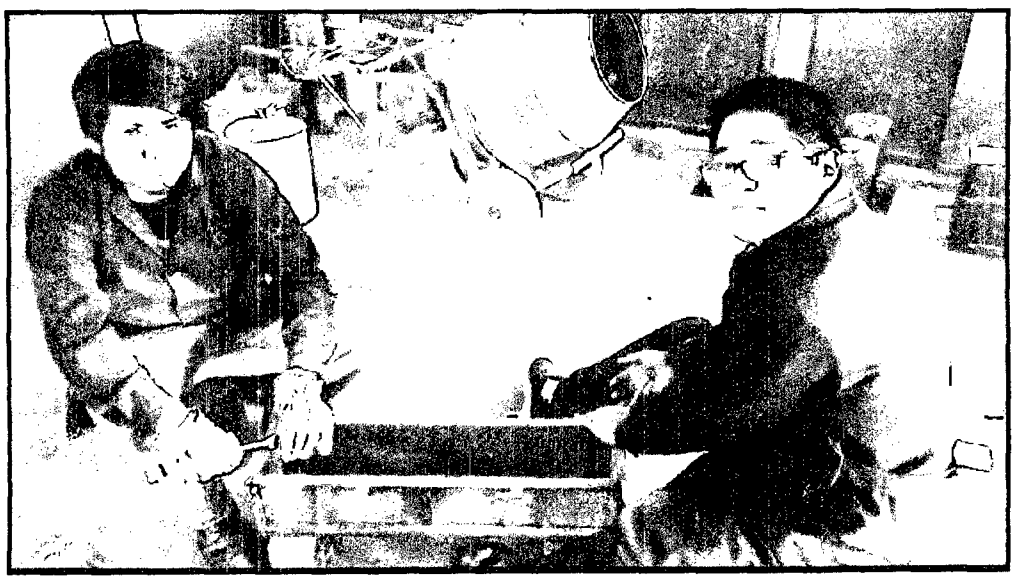


GRAFICO G. 20 Desencofrado de Vigas

GRAFICO G. 21 Probetas y Vigas para ser curadas

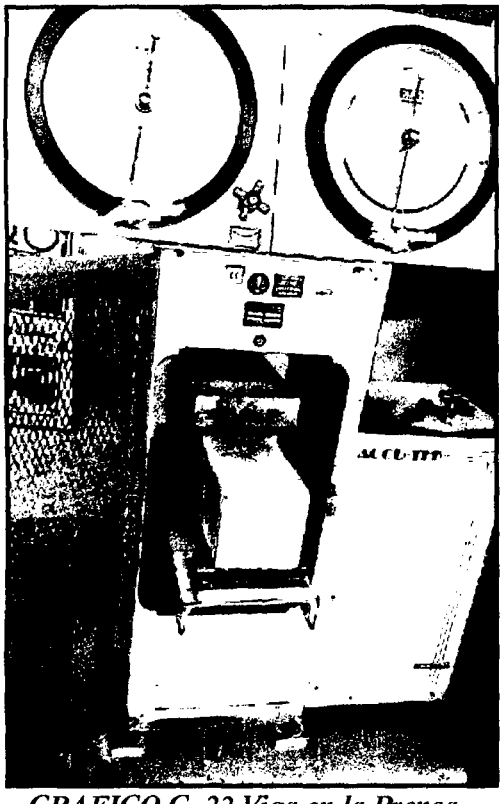


GRAFICO G. 22 Viga en la Prensa de Ensayo

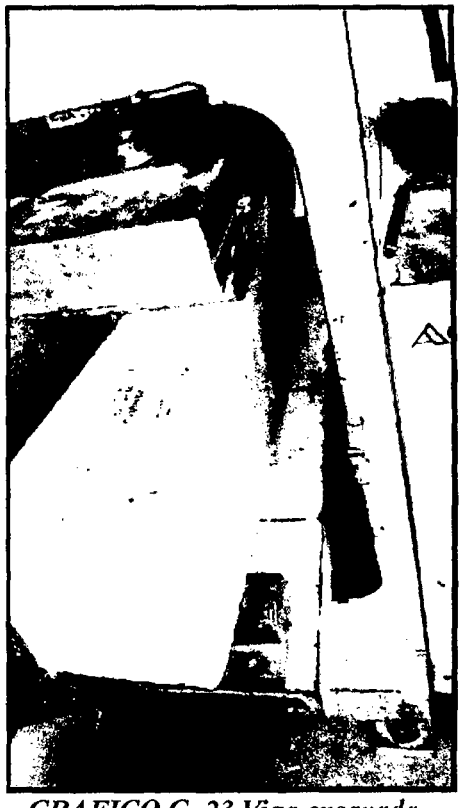


GRAFICO G. 23 Viga ensayada a Flexion

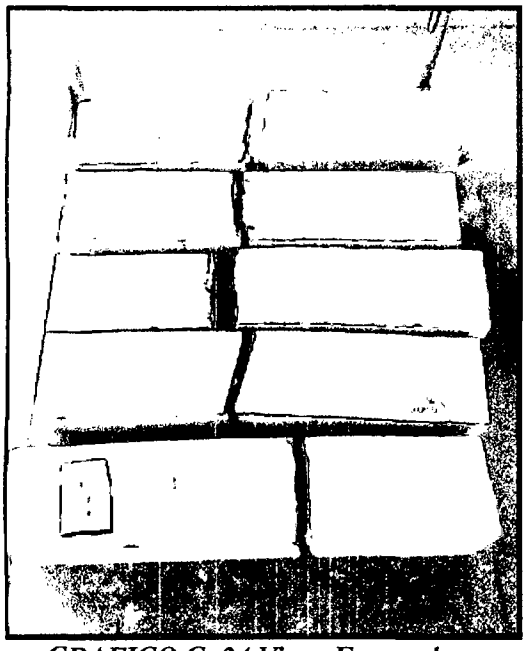


GRAFICO G. 24 Vigas Ensayadas

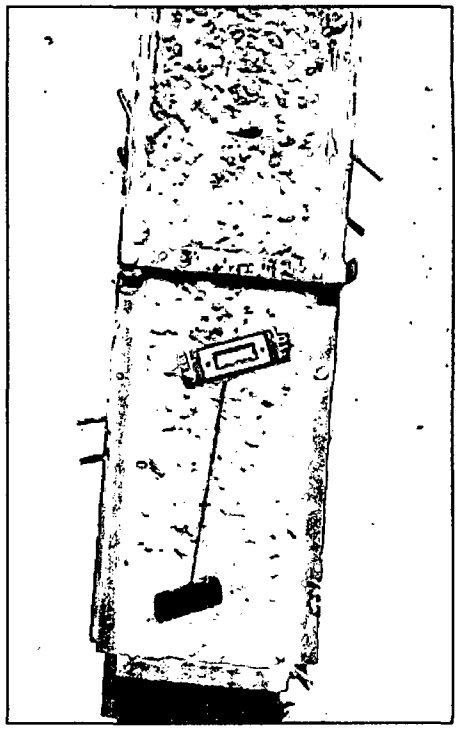


GRAFICO G. 25 Control de la Temperatura en Vigas

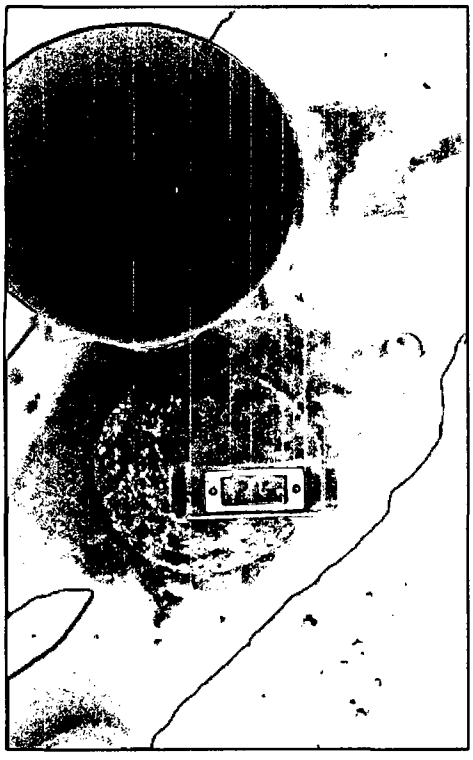


GRAFICO G. 26 Control de la Temperatura en Slump

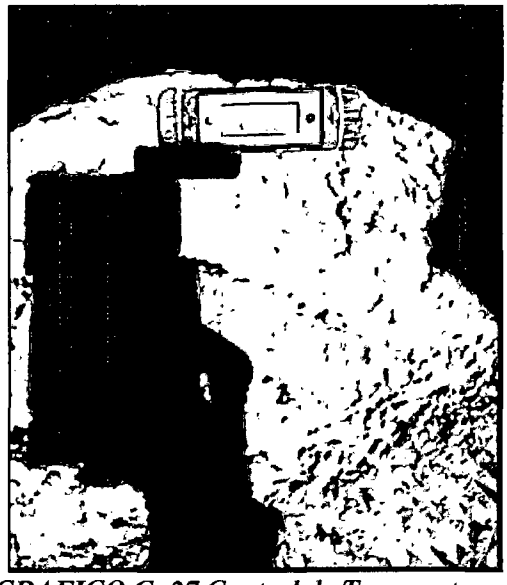


GRAFICO G. 27 Control de Temperatura en la Mezcla