

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ADITIVOS
SUPERPLASTIFICANTES UTILIZADOS EN NUESTRO MEDIO E
INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CON
CEMENTO TIPO I , V , IP**

TESIS

Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO CIVIL

Edgar Sabino Alarcón Huallpa

**LIMA – PERU
2005**

RESUMEN

El presente estudio es una evaluación de los efectos del aditivo sika viscoconcrete-3 superplastificante de alto rango, es un aditivo de tercera generación para concretos y morteros, esta evaluación se realizó teniendo como referencia la norma ASTM-94 para aditivos tipo F, los factores de estudio en esta tesis fueron el porcentaje de aditivo superplastificante, el tipo de cemento y la relación agua/cemento.

Adicionalmente se realizó una síntesis y análisis comparativo de los resultados de los estudios de tesis en los últimos años en la FIC-UNI, en las cuales se emplearon diversos aditivos superplastificantes, con la finalidad de precisar claramente el comportamiento de estos productos desde el punto de vista del cumplimiento de las especificaciones técnicas.

Para la relación $a/c=0.45$ se usaron 3 tipos de cemento: sol tipo I, Andino tipo V y Atlas puzolánico tipo IP, el aditivo se empleó en dosificaciones de 0.4, 0.8 y 1.2% en peso de cemento cuya dosificación es para concretos plásticos suaves con dichas dosificaciones se producen 12 diseños de mezclas distintas. El concreto se diseñó con una trabajabilidad media (slump de 3" a 4"), para cada diseño se evaluó el asentamiento, la consistencia, peso unitario, exudación tiempo de fragua, resistencia a la compresión axial y diametral.

El estudio muestra que el efecto de los aditivos debe evaluarse desde el total cumplimiento de las especificaciones técnicas referidas a los incrementos porcentuales en la resistencia desarrollada y a los tiempos de fragua especificados; estos aspectos no han sido considerados en las tesis evaluadas. Con respecto al cumplimiento de los requisitos de la norma ASTM-494 para aditivos superplastificantes tipo F referente a la **Resistencia a la compresión** cumple parcialmente a la **edad de 1 día**: No cumple para el diseño de 0.4% de aditivo con cemento Tipo I Sol ; a la **edad de 3 días**: con cemento Tipo I Sol no cumple para 0.4% de aditivo, con cemento Tipo V Andino cumple satisfactoriamente, con cemento tipo IP Atlas no cumple para 0.4% de aditivo; a la **edad de 7 días**: Con cemento Tipo I Sol no cumple para 0.4% de aditivo, con cemento Tipo V Andino cumple satisfactoriamente, con cemento Tipo IP no cumple para 0.4% de aditivo; a la **edad de 28 días**: Cumple para todos los diseños de concreto y todos los tipos de cemento.

Cumple parcialmente los requisitos de la norma ASTM-494 para aditivos superplastificantes tipo F con respecto al **Tiempo de Fragua**:

Cemento Tipo I – Sol: La fragua Inicial no cumple para una dosificación de aditivo de 1.2%, referente a la fragua final no cumple para 0.8 y 1.2% de aditivo; Cemento Tipo V – Andino: La fragua inicial y final no cumple para 0.8 y 1.2% de aditivo; Cemento Tipo IP – Atlas: La fragua inicial cumple para todos los diseños y la fragua final no cumple para 1.2% de aditivo.

Con respecto a la **Reducción de agua** cumple los requerimientos de la norma ASTM-494 para aditivos superplastificantes tipo F, en los diseños con aditivo con una reducción de agua que varía entre el 13% y 34% a excepción del diseño con cemento tipo IP en una dosificación de 0.4% de aditivo, que solo se logra un 10% de reducción de agua.

Se muestran diferencias significativas en los resultados dependiendo el tipo de cemento explicándose esto por la diferente composición química de estos cementos y la capacidad de generación de calor de hidratación.

El contenido óptimo de aditivo hallado para concretos plásticos es de 0.8% el valor recomendado por el fabricante es de 0.4% a 1.2%, en el proceso de ensayos cuando se utiliza el aditivo Sika Viscocrete – 3, en porcentaje de 1.2% se produce incertidumbre al tratar de conseguir asentamiento entre 3" y 4" y al mismo tiempo obtener mezclas trabajables y más aun mezclas con homogeneidad garantizada, por tal motivo la dosificación de 1.2% se recomienda para concretos fluidos y autocompactantes más no para concretos plásticos, cabe recalcar que con dicha dosificación de 1.2% de aditivo se obtienen las mayores resistencias a compresión.

Con respecto a las investigaciones analizadas llegamos a determinar la mezcla más económica en todas las estudiadas a aquella que alcanza un gran incremento en su resistencia mecánica a la compresión y a la vez un precio adecuado en lo referente a concretos de mediana a alta resistencia, en promedio para f_c medianos (350 kg/cm^2), aquella mezcla que ha sido diseñada con el aditivo EUCO 37 y cemento Portland Tipo I - Sol tiene un valor de 161.10 soles/ m^3 para concretos cercanos a las altas resistencias tenemos los diseños de Sikaviscocrete 1, los cuales bordean precios que van desde 324.17 soles/ m^3 (700 kg/cm^2) hasta los 408.04 soles/ m^3 (925 kg/cm^2).

INDICE

LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE GRAFICOS.....	xxii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I CEMENTO PORTLAND.....	3
1.1 Generalidades.....	3
1.2 Proceso de fabricación del cemento	4
1.2.1. Molienda y cocción de materias primas.....	5
1.2.2. Procesos de fabricación del clínker	5
1.2.3. Molienda del cemento.....	6
1.3 Características esenciales del cemento.....	7
1.3.1. Composición química del cemento.....	7
1.3.2. Composición potencial.....	9
1.3.3. Características físicas y mecánicas.....	10
1.4 Hidratación del cemento Portland.....	12
1.4.1. Mecanismo de hidratación.....	12
1.5 Tipos de cemento y sus aplicaciones principales.....	13
1.6 Los cementos peruanos y sus características.....	15
1.7 Cementos utilizados en esta investigación.....	17
1.7.1. Cemento Portland tipo I – Sol.....	17
1.7.2. Cemento Portland tipo V - Andino.....	18
1.7.2. Cemento Portland puzolanico tipo IP de cementos Lima S.A... ..	18
CAPITULO II AGREGADOS PARA CONCRETOS.....	21
2.1. Generalidades.....	21
2.2. Proceso de obtención de los agregados de cantera.....	22
2.3. Cantera de Jicamarca.....	23
2.4. Características físicas de los agregados.....	23
2.4.1. Agregado fino.....	23
2.4.1.1. Granulometría.....	23
2.4.1.2. Modulo de finura.	27
2.4.1.3. Impurezas orgánicas.	28
2.4.1.4. Peso unitario suelto	28

2.4.1.5.	Peso unitario compactado	29
2.4.1.6.	Material que pasa la malla N°200	29
2.4.1.7.	Peso específico.....	30
2.4.1.8.	Porcentaje de absorción.	30
2.4.1.9.	Contenido de humedad.	31
2.4.2.	Agregado grueso.....	31
2.4.2.1.	Granulometría.	31
2.4.2.2.	Modulo de finura.	38
2.4.2.3.	Peso unitario suelto.	38
2.4.2.4.	Peso unitario compactado.	39
2.4.2.5.	Peso específico.	39
2.4.2.6.	Porcentaje de absorción.	40
2.4.2.7.	Contenido de humedad.	40
2.4.2.8.	Tamaño máximo.	41
2.4.2.9.	Tamaño máximo nominal.....	41
	Resumen de propiedades.....	42
	CAPITULO III AGUA.....	43
3.1.	Generalidades.....	43
3.2.	Requisitos.....	43
3.2.1.	Agua para mezcla.....	43
3.2.2.	Agua para curado.....	44
3.2.3.	Características del agua a utilizar.....	45
	CAPITULO IV ADITIVOS.....	46
4.1.	Generalidades.....	46
4.2.	Razones para el empleo de aditivos.....	47
4.3.	Uso de los aditivos.....	47
4.4.	Precauciones en el empleo de aditivos.....	48
4.5.	Clasificación de los aditivos.....	49
	CAPITULO V ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES.....	52
5.1.	Generalidades.....	52
5.2.	Definición.....	53
5.3.	Características.....	53
5.4.	Clasificación de los aditivos superplastificantes.....	54
5.5.	Mecanismo de acción.....	57

5.6. Especificaciones.....	60
5.7. Uso de los superplastificantes.....	61
5.7.1. Incremento en el asentamiento:.....	61
5.7.2. Disminución del cemento y del agua de diseño:.....	62
5.8. Aditivo Sika Viscocrete – 3.....	62
CAPITULO VI CONCRETO.....	65
6.1. Generalidades.....	65
6.2. La estructura del concreto.....	66
6.2.1. Estructura de la fase agregado.....	67
6.2.2. Estructura de la pasta de cemento hidratado.....	69
6.2.2.1. Sólidos en la pasta de cemento hidratado.....	70
6.2.2.2. Huecos en la pasta de cemento hidratado.....	72
6.2.2.3. Agua en la pasta de cemento hidratado.....	74
6.2.3. Estructura de la zona de transición.....	75
CAPITULO VII Proporcionamiento de las mezclas de concreto...	78
7.1. Generalidades.....	78
7.2. Diseño de mezclas sin aditivo.....	79
7.2.1. Determinación de la relación de agregados, respecto al máximo peso unitario.....	81
7.2.2. Diseño del concreto patrón.....	84
7.3. Diseño del concreto con aditivo superplastificante.....	95
7.3.1. Proporción del concreto con cemento tipo I y con aditivo superplastificante sika viscocrete 3.....	98
7.3.2. Proporción del concreto con cemento tipo V con aditivo superplastificante sika viscocrete 3.....	101
7.3.3. Proporción del concreto con cemento tipo IP con aditivo superplastificante sika viscocrete 3.....	104
CAPITULO VIII ENSAYOS Y PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	109
8.1. Generalidades.....	109
8.2. Ensayos del concreto en el estado fresco.....	110
8.2.1. Peso unitario	110
8.2.2. Consistencia	112
8.2.3. Tiempo de fraguado	114
8.2.4. Fluidéz	128

8.2.5. Exudación	129
8.2.6. Resumen de propiedades del concreto fresco.....	141
8.3. Propiedades del concreto endurecido.....	142
8.3.1. Resistencia a la compresión.....	142
8.3.2. Resistencia a la tracción por compresión diametral.....	163
8.3.3. Resumen de propiedades del concreto endurecido.....	168
CAPITULO IX SÍNTESIS DE INVESTIGACIONES REALIZADAS.....	174
10.2. Generalidades.....	174
10.2. Síntesis de investigaciones.....	175
9.2.1. Influencia de los superplastificantes en las propiedades del concreto normal.....	175
9.2.2. Determinación de las propiedades del concreto por la adición de aditivo superplastificante y reductor de agua con cemento portland tipo IP.....	177
9.2.3. Concreto de alta resistencia con el superplastificante PSP-N2 .	181
9.2.4. Incorporación del aditivo MICRO-SÍLICE F-100T DRY EMSAC y el superplastificante PSP-N2 protex para la obtención de concretos de alta resistencia.....	184
9.2.5. Estudio de la influencia del aditivo superplastificante y reductor de agua de alto rango, sobre las propiedades del concreto.....	187
9.2.6. Estudio del concreto de alta resistencia y alta performance con la incorporación de sílice en polvo y aditivo superplastificante.....	190
9.2.7. Concretos de alta resistencia empleando la micro-sílice Sikacrete 950 y el superplastificante Sikament FF-86.....	194
9.2.8. Estudio de los efectos producidos en las propiedades del concreto fresco y endurecido, por la adición de un aditivo superplastificante, utilizando cemento portland tipo I.....	198
9.2.9. Características del concreto de alta resistencia con aditivo superplastificante y cemento portland tipo I.....	201
9.2.10. Efectos del aditivo superplastificante y reductor de agua en los concretos preparados con cemento portland tipo V.....	205

9.2.11. Investigación del concreto de alta resistencia metodología de obtención y determinación de las propiedades de los concretos de 550 – 1200 kg/cm ²	209
9.2.12. Efectos de la incorporación del aditivo superfluidificante sobre las propiedades del concreto utilizando el cemento portland tipo I.....	213
9.2.13. Estudio de la variación de la resistencia en compresión en concretos de alta resistencia debido al curado en laboratorio y bajo condiciones de obra.....	217
9.2.14. Estudio del concreto de mediana a baja resistencia, variando el tamaño máximo del agregado grueso canto rodado, con aditivo superplastificante.....	221
9.2.15. Estudio de las propiedades del concreto fresco y endurecido de mediana a alta resistencia con aditivo superplastificante y retardador de fraguado, con cemento Portland tipo I.....	226
CAPITULO X ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS DIVERSOS ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES Y TIPOS DE CEMENTO.....	
	230
10.1. Generalidades.....	230
10.2. Evaluación de resultados de tesis anteriores.....	230
10.2.1. Requerimientos de la norma ASTM C-494 TIPO F para aditivos superplastificantes	231
10.2.2. Cumplimiento de los aditivos superplastificantes estudiados con la norma ASTM C 494 para aditivos superplastificantes TIPO F.....	232
10.3. Estudio comparativo de aditivos superplastificantes analizados. .	233
10.4. Tabla Final comparativa entre los diferentes aditivos superplastificantes analizados	234
CAPITULO XI ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTO - BENEFICIO DE LOS ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES.....	
	242
Tabla comparativa de los aditivos superplastificantes y sus precios por m ³	252
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	254

BIBLIOGRAFÍA.....	260
ANEXOS.....	265

Lista de Cuadros

Cuadro 1.6.1.- Tipos y clases de cementos peruanos.....	16
Cuadro 2.4.1.1.1.- Requisito de Granulometría para agregados finos.....	24
Cuadro 2.4.1.1.2.- Ensayos de granulometría del agregado fino (arena).....	25
Cuadro 2.4.1.1.3.- Granulometría agregado fino, pesos retenidos de cuatro Ensayos.....	26
Cuadro 2.4.1.4.1.- Ensayo peso unitario suelto agregado fino....	28
Cuadro 2.4.1.5.1.- Ensayo peso unitario compactado agregado fino.....	29
Cuadro 2.4.1.7.1.- Ensayos de peso específico y absorción del agregado fino.....	30
Cuadro 2.4.1.9.1.- Ensayo de Contenido de humedad del agregado fino.....	31
Cuadro 2.4.2.1.1.-Requerimientos de granulometría de los agregados gruesos.....	32
Cuadro 2.4.2.1.2.- Primer ensayo de granulometría del agregado grueso, cantera Jicamarca.....	32
Cuadro 2.4.2.1.3.- Segundo ensayo de granulometría del agregado grueso, cantera Jicamarca.....	33
Cuadro 2.4.2.1.4.- Tercer ensayo de granulometría del agregado grueso, cantera Jicamarca.....	34
Cuadro 2.4.2.1.5.-Cuarto ensayo de granulometría del agregado grueso, cantera Jicamarca.....	35
Cuadro 2.4.2.1.6.- Total de pesos retenidos y suma total de los cuatro ensayos.....	36
Cuadro 2.4.2.1.7.- Granulometría total del agregado grueso.....	37
Cuadro 2.4.2.3.1.- Peso unitario suelto agregado grueso.....	38
Cuadro 2.4.2.4.1.- Peso unitario compactado agregado grueso..	39
Cuadro 2.4.2.5.1.- Peso específico agregado grueso.....	40

Cuadro 2.4.2.7.- Contenido de humedad agregado grueso (Piedra).....	41
Cuadro 2.4.2.1.- Resumen de propiedades del agregado fino y grueso.....	42
Cuadro 3.2.1.- Requisitos para agua de mezcla y curado.....	44
Cuadro 7.2.1.2.1.- Combinación de agregados mediante el peso unitario compactado del agregado global.....	82
Cuadro 7.2.1.2.2- Porcentajes de agregados para obtener la mejor combinación.....	82
Cuadro 7.2.1.2.3.-Resultados de resistencia a la compresión para obtener mejor combinación de agregados...	83
Cuadro 7.2.2.1.- Propiedades de materiales empleados para el diseño del concreto.....	84
Cuadro 7.2.2.2.- Contenido de aire atrapado por m3 de concreto.....	85
Cuadro 7.2.2.3.-Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.....	86
Cuadro 7.2.2.4.-Diseño de mezcla para determinar el agua requerida, cemento sol tipo I $a/c= 0.45$	89
Cuadro 7.2.2.5.-Diseño de mezcla para determinar el agua requerida, cemento andino tipo V $a/c= 0.45$ cemento andino tipo V $a/c = 0.45$	91
Cuadro 7.2.2.6.-Diseño de mezcla para determinar el agua requerida cemento atlas tipo IP $a/c= 0.45$ cemento atlas tipo IP $a/c = 0.45$	93
Cuadro 7.3.1.1.1.- Diseño 0.4% de aditivo, cemento tipo I.....	98
Cuadro 7.3.1.2.1.- Diseño 0.8% de aditivo, cemento tipo I.....	99
Cuadro 7.3.1.3.1.- Diseño 1.2% de aditivo, cemento tipo I.....	100
Cuadro 7.3.2.1.1.- Diseño 0.4% de aditivo, cemento tipo V.....	101
Cuadro 7.3.2.2.1.- Diseño 0.8% de aditivo, cemento tipo V.....	102
Cuadro 7.3.2.3.1.- Diseño 1.2% de aditivo, cemento tipo V.....	103
Cuadro 7.3.3.1.1.- Diseño 0.4% de aditivo, cemento tipo IP.....	104

Cuadro 7.3.3.2.1.- Diseño 0.8% de aditivo, cemento tipo IP.....	105
Cuadro 7.3.3.3.1.- Diseño 1.2% de aditivo, cemento tipo IP.....	106
Cuadro 7.1.- Propiedades del concreto en el diseño de mezclas de concreto. a/c = 045; cemento tipo I, V y IP; aditivo Sika viscoconcrete-3.....	107
Cuadro 8.2.1.1.- Ensayo: peso unitario del concreto NTP 339.049.....	111
Cuadro 8.2.2.1.-Trabajabilidad y revenimiento de concretos con tamaño máximo de agregado entre ¾" a 1 ½".....	113
Cuadro 8.2.2.2.- Ensayo de consistencia(asentamiento) NTP 339.035.....	114
Cuadro 8.2.3.1.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo I, diseño patrón.....	116
Cuadro 8.2.3.2.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo I, diseño 0.4% aditivo.....	117
Cuadro 8.2.3.3.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo I, 0.8% aditivo.....	118
Cuadro 8.2.3.4.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo I, 1.2% aditivo.....	119
Cuadro 8.2.3.5.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo V, diseño patrón.....	120
Cuadro 8.2.3.6.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo V, 0.4% aditivo.....	121
Cuadro 8.2.3.7.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo V, 0.8% aditivo.....	122
Cuadro 8.2.3.8.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo V, 1.2% aditivo.....	123
Cuadro 8.2.3.9.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo IP, diseño patrón.....	124
Cuadro 8.2.3.10.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo IP, 0.4% Aditivo.....	125
Cuadro 8.2.3.11.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo IP, 0.8% Aditivo.....	126

Cuadro 8.2.3.12.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo IP, 1.2% Aditivo.....	127
Cuadro 8.2.4.1.- Ensayo de fluidez NTP 339.085.....	128
Cuadro 8.2.5.1.-Ensayo de exudación del concreto (resumen) a/c = 045.....	140
Cuadro 8.2.5.2.- Propiedades del concreto fresco; a/c=0.45; Cemento Tipo I, V, y IP; Aditivo superplastificante Sika viscocrete-3.....	141
Cuadro 8.3.1.1.-Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – Patrón.....	151
Cuadro 8.3.1.2.-Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – 0.4% Aditivo.....	152
Cuadro 8.3.1.3.-Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – 0.8% Aditivo.....	153
Cuadro 8.3.1.4.-Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – 1.2% Aditivo.....	154
Cuadro 8.3.1.5.-Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo V Patrón.....	155
Cuadro 8.3.1.6.-Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo V – 0.4% Aditivo.....	156
Cuadro 8.3.1.7.-Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo V – 0.8% Aditivo.....	157
Cuadro 8.3.1.8.-Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo V – 1.2% Aditivo.....	158
Cuadro 8.3.1.9.-Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo IP Patrón.....	159
Cuadro 8.3.1.10-Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo IP– 0.4% Aditivo.....	160
Cuadro 8.3.1.11.-Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo IP – 0.8% Aditivo.....	161
Cuadro 8.3.1.12.-Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo IP– 1.2% Aditivo.....	162
Cuadro 8.3.2.1.- Ensayo de compresión diametral, Cemento Tipo I, diseño patrón.....	166

Cuadro 8.3.2.2.- Ensayo de compresión diametral, Cemento Tipo I, 1.2% de Aditivo.....	166
Cuadro 8.3.2.3.- Ensayo de compresión diametral, Cemento Tipo V, diseño Patrón.....	166
Cuadro 8.3.2.4.- Ensayo de compresión diametral, Cemento Tipo V, 1.2% Aditivo	167
Cuadro 8.3.2.5.- Ensayo de compresión diametral, Cemento Tipo IP, diseño patrón.....	167
Cuadro 8.3.2.6.- Ensayo de compresión diametral, Cemento Tipo IP, 1.2% aditivo.....	167
Cuadro 8.3.2.7.- Propiedades del concreto endurecido, a/c = 045; Cemento Tipo I, V y IP; Aditivo SIKA VISCOCRETE-3.....	168
Cuadro 8.3.2.8.- Variación porcentual de propiedades al estado endurecido (%), a/c = 045; Cemento tipo I, V y IP; Aditivo Sika Viscocrete-3.....	169
Cuadro 9.2.1.1.-Resumen de las propiedades de los agregados, tesis influencia de los superplastificantes en las propiedades del concreto.....	175
Cuadro 9.2.1.2.-Propiedades del concreto al estado fresco y endurecido, cemento tipo I, Aditivo Sikament.....	176
Cuadro 9.2.2.1.-Resumen de las propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera Río Rimac, Agregado fino : Cantera La Molina.....	177
Cuadro 9.2.2.2.- Diseño concreto patrón, cemento tipo IP.....	178
Cuadro 9.2.2.3.-Propiedades del concreto al estado fresco, cemento tipo IP, Aditivo superplastificante Muroxment.....	179
Cuadro 9.2.2.4.- Propiedades Resistencia a la compresión, cemento tipo IP, Aditivo superplastificante Muroxment.....	180
Cuadro 9.2.2.5.- Resistencia a la tracción por compresión diametral, cemento tipo IP, Aditivo superplastificante Muroxment.....	180

Cuadro 9.2.3.1.- Resumen de las propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera la Gloria, Agregado fino: Cantera la Molina.....	181
Cuadro 9.2.3.2.- Diseño de mezclas de concreto, cemento tipo I, Aditivo superplastificante PSP-N2 de PROTEX...	182
Cuadro 9.2.3.3.- Propiedades del concreto al estado fresco, cemento tipo I, Aditivo superplastificante PSP-N2 de PROTEX.....	183
Cuadro 9.2.3.4.- Propiedades de resistencia ala compresión, cemento tipo I, Aditivo superplastificante PSP-N2 de PROTEX.....	183
Cuadro 9.2.4.1.- propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera Lurin Agregado fino : Cantera Jicamarca.....	184
Cuadro 9.2.4.2.- Dosificación de mezclas, cemento tipo I Micro-silice f-100t Dry Emsac y el superplastificante PSP-N2 PROTEX.....	185
Cuadro 9.2.4.3.- Propiedades del concreto al estado fresco, cemento tipo I , Micro-silice f-100t Dry Emsac y el superplastificante PSP-N2 PROTEX.....	185
Cuadro 9.2.4.4.- Propiedades de resistencia a la compresión, cemento tipo I , Micro-silice f-100t Dry Emsac y el superplastificante PSP-N2 PROTEX.....	186
Cuadro 9.2.5.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera Río Rimac, Agregado fino: Cantera Jicamarca.....	187
Cuadro 9.2.5.2.- Diseño de mezcla, cemento tipo I, Diseño patrón por m3 de concreto (húmedo).....	188
Cuadro 9.2.5.3.- Propiedades del concreto al estado fresco, cemento tipo I, Aditivo superplastificante PSPN-N2.....	188
Cuadro 9.2.5.4.- Propiedades de resistencia a la compresión , cemento tipo I, Aditivo superplastificante PSPN-N2.....	189

Cuadro 9.2.5.5.- Propiedades de Tracción por compresión diametral (kg/cm ²) , cemento tipo I, Aditivo superplastificante PSPN-N2.....	189
Cuadro 9.2.6.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera la Gloria, Agregado fino: Cantera la Molina.....	190
Cuadro 9.2.6.2.- Diseño patrón por m ³ de concreto (húmedo), Cemento tipo I.....	192
Cuadro 9.2.6.3.- Propiedades del concreto al estado fresco, cemento tipo I, incorporación de la sílice en polvo, aditivo superplastificante PSP-N2.....	192
Cuadro 9.2.6.4.- Resistencia a la compresión(kg/cm ²), cemento tipo I, incorporación de la sílice en polvo, aditivo superplastificante PSP-N2.....	192
Cuadro 9.2.6.5.- Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm ²), cemento tipo I, incorporación de la sílice en polvo, aditivo superplastificante PSP-N2.....	193
Cuadro 9.2.7.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera Jicamarca, Agregado fino: Cantera la Molina.....	194
Cuadro 9.2.7.2.- Diseño final en pesos húmedos por metro cúbico de concreto, Cemento tipo I , superplastificante SIKAMENT FF-86, microsílíce sikacrete 950.....	196
Cuadro 9.2.7.3.- Propiedades del concreto al estado fresco, Cemento tipo I , superplastificante SIKAMENT FF-86, microsílíce sikacrete 950.....	196
Cuadro 9.2.7.4.- Resistencia a la compresión , Cemento tipo I , superplastificante SIKAMENT FF-86, microsílíce sikacrete 950.....	197
Cuadro 9.2.8.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera Lurin, Agregado fino : Cantera Jicamarca.....	198

Cuadro 9.2.8.2.- Diseño patrón por metro cúbico de concreto (húmedo), cemento tipo I.....	199
Cuadro 9.2.8.3.- Propiedades del concreto al estado fresco, cemento tipo I, superplastificante SIKAMENT 10.	199
Cuadro 9.2.8.4.- Resistencia a la compresión(kg/cm ²), cemento tipo I, superplastificante SIKAMENT 10.....	200
Cuadro 9.2.8.5.- Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm ²), cemento tipo I, superplastificante SIKAMENT 10.....	200
Cuadro 9.2.9.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera la Gloria, Agregado fino: Cantera San Martín.....	201
Cuadro 9.2.9.2.- Diseño patrón por metro cúbico de concreto (húmedo), cemento tipo I.....	203
Cuadro 9.2.9.3.- Propiedades del concreto al estado fresco, Cemento: tipo I, superplastificante: denominado PSP-L.....	203
Cuadro 9.2.9.4.- Propiedad de Resistencia a la compresión(kg/cm ²); utilizando Cemento tipo I y Superplastificante denominado PSP-L.....	204
Cuadro 9.2.9.5.- Propiedad de Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm ²); utilizando Cemento tipo I y Superplastificante denominado PSP-L.....	204
Cuadro 9.2.10.1.- Propiedades de los agregados; Agregado grueso: Cantera la Gloria, Agregado fino: Cantera San Martín.....	205
Cuadro 9.2.10.2.- Diseño patrón por metro cúbico de concreto (húmedo), Cemento Andino tipo V.....	207
Cuadro 9.2.10.3.-Propiedades del concreto al estado fresco, Utilizando Cemento Andino tipo V y Aditivo superplastificante Z. FLUIDIZANTE S.R.....	207

Cuadro 9.2.10.4.-Propiedad de Resistencia a la compresión (kg/cm ²) , Utilizando Cemento Andino tipo V y Aditivo superplastificante Z. FLUIDIZANTE S.R...	208
Cuadro 9.2.10.5.- Propiedad de Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm ²), Utilizando Cemento Andino tipo V y Aditivo superplastificante Z. FLUIDIZANTE S.R.....	208
Cuadro 9.2.11.1.- Propiedades de los agregados; Agregado grueso: 90% Dioritas +10% Andesitas; Agregado fino: arena gruesa de m.f.= 3.14.....	209
Cuadro 9.2.11.2.- Diseño Concreto patrón.....	210
Cuadro 9.2.11.3.-Dosificación final concreto patrón + Aditivo + Microsilice por m ³	210
Cuadro 9.2.11.4.-Propiedades del concreto Peso unitario y Exudación.....	211
Cuadro 9.2.11.5.-Propiedades de concreto, Tiempo de fragua...	211
Cuadro 9.2.11.6.-Propiedades del concreto Resistencia a la compresión.....	211
Cuadro 9.2.11.7.- Resistencia a la Tracción por compresión diametral a los 28 días.....	212
Cuadro 9.2.11.8.-Resistencia a la compresión.....	212
Cuadro 9.2.11.9.-Resistencia a la compresión, análisis con diferentes tipos de cemento con aditivo mas microsilice.....	212
Cuadro 9.2.12.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera Jicamarca, Agregado fino: Cantera Jicamarca.....	213
Cuadro 9.2.12.2.- Diseño patrón por m ³ de concreto (húmedo), cemento Andino tipo I.....	214
Cuadro 9.2.12.3.- Propiedades del concreto al estado fresco, Cemento Andino tipo I, Aditivo superplastificante SIKAMENT "FF".....	215

Cuadro 9.2.12.4.- Resistencia a la compresión (kg/cm ²), Cemento Andino tipo I, Aditivo superplastificante SIKAMENT “FF”	216
Cuadro 9.2.13.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera Jicamarca, Agregado fino: Cantera Jicamarca.....	217
Cuadro 9.2.13.2.- Diseño patrón por metro cúbico de concreto, cemento Andino tipo V.....	218
Cuadro 9.2.13.3.- Diseño con aditivo por metro cúbico de concreto, cemento Andino tipo V, Aditivo Rheobuild – 1000.....	218
Cuadro 9.2.13.4.- Propiedades del concreto al estado fresco, Cemento Andino tipo V, Aditivo Rheobuild – 1000.....	218
Cuadro 9.2.13.5.- Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con Cemento Andino tipo V y Aditivo Rheobuild – 1000.....	220
Cuadro 9.2.14.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera Trapiche, Agregado fino: Cantera Trapiche.....	221
Cuadro 9.2.14.2.- Diseño concreto Patrón, Cemento Sol tipo I.	223
Cuadro 9.2.14.3.- Diseño con aditivo 96 Kg. de concreto (húmedo), cemento Sol tipo I, Aditivo Superplastificante EUCO 37.....	224
Cuadro 9.2.14.4.- Propiedades del concreto al estado fresco, cemento Sol tipo I, Aditivo Superplastificante EUCO 37. Todos los diseños son con aditivo 1% del peso del cemento.....	224
Cuadro 9.2.14.5.- Resistencia a la compresión (kg/cm ²) con cemento Sol tipo I, Aditivo Superplastificante EUCO 37. Todos los diseños son con aditivo 1% del peso del cemento.....	225

Cuadro 9.2.14.6.- Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm ²) con cemento Sol tipo I, Aditivo Superplastificante EUCO 37. Todos los diseños son con aditivo 1% del peso del cemento.....	225
Cuadro 9.2.15.1-Propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera Jicamarca, Agregado fino: Cantera Cerro Camote.....	227
Cuadro 9.2.15.2.- diseño del concreto patrón, pesos húmedos por m ³ de concreto con cemento Andino tipo I....	227
Cuadro 9.2.15.3.- Diseño del concreto con aditivo (húmedo), con cemento Andino Tipo I y Aditivo superplastificante Sika Viscocrete-1.....	228
Cuadro 9.2.15.4.- Propiedades del concreto al estado fresco con cemento Andino Tipo I y Aditivo superplastificante Sika Viscocrete-1.....	228
Cuadro 9.2.15.5.- Resistencia a la compresión (kg/cm ²), con cemento Andino Tipo I y Aditivo superplastificante Sika Viscocrete-1.....	229
Cuadro 9.2.15.6.- Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm ²), con cemento Andino Tipo I y Aditivo superplastificante Sika Viscocrete-1.....	229
Cuadro 10.2.1.- Cumplimiento de los aditivos superplastificantes estudiados con la norma ASTM C 494 para aditivos superplastificantes TIPO F.....	232
Cuadro 11.1.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto patrón, cemento Tipo I y relación a/c=0.45.....	244
Cuadro 11.2.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo I, 0.4% de aditivo sika visocrete 3 y relación a/c=0.45.....	244
Cuadro 11.3.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo I, 0.8% de aditivo sika visocrete 3 y relación a/c=0.45.....	244

Cuadro 11.4.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo I, 1.2% de aditivo sika viscocrete 3 y relación a/c=0.45.....	245
Cuadro 11.5.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto patrón, cemento Tipo V y relación a/c=0.45.....	245
Cuadro 11.6.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo V, 0.4% de aditivo sika viscocrete 3 y relación a/c=0.45.....	245
Cuadro 11.7.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo V, 0.8% de aditivo sika viscocrete 3 y relación a/c=0.45.....	246
Cuadro 11.8.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo V, 1.2% de aditivo sika viscocrete 3 y relación a/c=0.45.....	246
Cuadro 11.9.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto patrón, cemento tipo IP y relación a/c=0.45.....	246
Cuadro 11.10.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo IP, 0.4% de aditivo sika viscocrete 3 y relación a/c=0.45.....	247
Cuadro 11.11.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo IP, 0.8% de aditivo sika viscocrete 3 y relación a/c=0.45.....	247
Cuadro 11.12.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo IP, 1.2% de aditivo sika viscocrete 3 y relación a/c=0.45.....	247
Cuadro 11.13.- Calculo del costo de un m ³ de concreto con el aditivo superplastificante Sika-viscocrete-3.....	248
Cuadro 11.14.- Variación porcentual del costo de un m ³ de concreto con el aditivo superplastificante sika- viscocrete-3 respecto al patrón.....	248
Cuadro 11.15.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto - con cemento Portland tipo V y aditivo Z Fluidizante.....	249

Cuadro 11.16.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto- con cemento Portland tipo I Sol y aditivo Euco-37.....	250
Cuadro 11.17.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto- con Cemento Portland tipo V y aditivo Rheobuild-1000.....	250
Cuadro 11.18.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto – con Cemento Portland tipo I Andino y aditivo Sika-viscocrete- 1.....	251
Cuadro 11.19.- Tabla comparativa de precios de aditivos superplastificantes.....	252

Lista de Gráficos

Grafico 1.2.1.- Proceso de fabricación del cemento.....	5
Grafico 2.4.1.1.1 Granulometría agregado fino.....	27
Grafico 2.4.2.1.1.- Primer ensayo de granulometría del agregado grueso.....	33
Grafico 2.4.2.1.2.- Segundo ensayo de granulometría del agregado grueso.....	34
Grafico 2.4.2.1.3.- Tercer ensayo de granulometría del agregado grueso.....	35
Grafico 2.4.2.1.4.- Cuarto ensayo de granulometría del agregado grueso.....	36
Grafico 2.4.2.1.5.-Granulometría total agregado grueso, Procedencia cantera de Jicamarca.....	37
Grafico 7.2.1.2.1.- Resistencia a la compresión vs combinación de agregados para obtener mejor combinación de agregados.....	83
Grafico 7.2.2.1.-Determinación de la cantidad de agua cemento sol tipo I $a/c = 0.45$	90
Grafico 7.2.2.2.- Determinación de la cantidad de agua cemento andino tipo V $a/c = 0.45$	92
Grafico 7.2.2.3.-Determinación de la cantidad de agua cemento atlas tipo IP $a/c = 0.45$	94
Grafico 7.1.- Porcentaje de reducción de agua vs diseño del concreto.....	107
Grafico 7.2.- Relación de agua final vs diseño de concreto.....	108
Grafico 8.2.1.1.- Peso unitario vs diseño del concreto; cementos tipo I, V y IP.....	111
Grafico8.2.3.1.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, diseño patrón.....	116
Grafico8.2.3.2.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, diseño patrón.....	116
Grafico 8.2.3.3.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, 0.4% aditivo.....	117

Grafico 8.2.3.4.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, 0.4% aditivo.....	117
Grafico 8.2.3.5.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, 0.8% aditivo.....	118
Grafico 8.2.3.6.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, 0.8% aditivo.....	118
Grafico 8.2.3.7.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, 1.2% aditivo.....	119
Grafico 8.2.3.8.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, 1.2% aditivo.....	119
Grafico 8.2.3.9.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo V, diseño patrón.....	120
Grafico 8.2.3.10.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo V, diseño patrón.....	120
Grafico 8.2.3.11.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo V, 0.4% Aditivo.....	121
Grafico 8.2.3.12.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo V, 0.4% Aditivo.....	121
Grafico 8.2.3.13.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo V, 0.8% Aditivo.....	122
Grafico 8.2.3.14.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo V, 0.8% Aditivo.....	122
Grafico 8.2.3.15.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo V, 1.2% Aditivo.....	123
Grafico 8.2.3.16.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo V, 1.2% Aditivo.....	123
Grafico 8.2.3.17.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo IP, Diseño patrón.....	124
Grafico 8.2.3.18.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo IP, Diseño patrón.....	124
Grafico 8.2.3.19.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo IP, 0.4% Aditivo.....	125
Grafico 8.2.3.20.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo IP, 0.4% Aditivo.....	125

Grafico 8.2.3.21.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo IP, 0.8% Aditivo.....	126
Grafico 8.2.3.22.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo IP, 0.8% Aditivo.....	126
Grafico 8.2.3.23.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo IP, 1.2% Aditivo.....	127
Grafico 8.2.3.24.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo IP, 1.2% Aditivo.....	127
Grafico 8.2.4.1.- Ensayo de fluidez NTP 339.085.....	129
Grafico 8.3.1.1.- Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – Patrón.....	151
Grafico 8.3.1.2.- Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – 0.4% Aditivo.....	152
Grafico 8.3.1.3.- Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – 0.8% Aditivo.....	153
Grafico 8.3.1.4.- Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – 1.2% Aditivo.....	154
Grafico 8.3.1.5.- Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo V – PATRON.....	155
Grafico 8.3.1.6.- Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo V – 0.4% Aditivo.....	156
Grafico 8.3.1.7.- Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo V – 0.8% Aditivo.....	157
Grafico 8.3.1.8.- Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo V – 1.2% Aditivo.....	158
Grafico 8.3.1.9.- Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo IP PATRON.....	159
Grafico 8.3.1.10.- Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo IP– 0.4% Aditivo.....	160
Grafico 8.3.1.11.- Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo IP – 0.8% Aditivo.....	161
Grafico 8.3.1.12.- Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo IP– 1.2% Aditivo.....	162

Grafico 8.2.1.- Ensayo de resistencia ala compresión, cemento tipo I, diseño patrón, 0.4%, 0.8% y 1.2% de Aditivo.....	170
Grafico 8.2.2.- Ensayo de resistencia a la compresión, cemento tipo V, diseño patrón, 0.4%, 0.8% y 1.2% de Aditivo.....	170
Grafico 8.2.3.- Ensayo de resistencia a la compresión, cemento tipo IP, diseño patrón, 0.4%, 0.8% y 1.2% de Aditivo.....	171
Grafico 8.2.4.- Ensayo de resistencia a la compresión, cemento tipo I, V y IP, diseño patrón.....	171
Grafico 8.2.5.- Ensayo de resistencia a la compresión, cemento tipo I, V y IP, 0.4% de aditivo.....	172
Grafico 8.2.6.- Ensayo de resistencia ala compresión, cemento tipo I, V y IP, 0.8% de aditivo.....	172
Grafico 8.2.7.- Ensayo de resistencia a la compresión, cemento tipo I, V y IP, 1.2% de aditivo.....	173
Grafico 8.2.8.- Análisis comparativo de costos.....	253

Introducción

El uso de aditivos en el concreto es cada vez mas frecuente debido a que el concreto con aditivo muestra características que no pueden ser logradas por otros métodos y en forma tan económica. El uso de aditivos superplastificantes proporciona concreto con altas resistencias iniciales, reducción de agua, incrementa la fluidez del concreto, los cuales se traduce en diversos beneficios sobre todo en la etapa constructiva.

Un compuesto debe cumplir ciertos requerimientos para ser considerados como un aditivo superplastificante, estos requerimientos están especificados en la Norma ASTM 494, en las cuales se especifican los incrementos en las resistencias, reducción de agua, tiempo de fraguado en cuya norma dan valores para ser considerados como aditivos Superplastificantes.

El estudio de aditivo superplastificante es frecuente, debido a que existen en el mercado gran cantidad de estos productos que son ofertados por diversas empresas, sin embargo de la revisión de resultados de estudios anteriores se puede observar que estos productos no cumplen estrictamente con todos los requisitos técnicos especificados en las normas y/o en las fichas del fabricante esta no conformidad seria debido a que muchas veces se proporcionaron resultados de ensayos efectuados en otros países con materiales diferentes a los empleados en el mercado nacional, los cuales no son especificados. Así mismo las empresas comercializadoras no indican los compuestos de sus aditivos con lo cual su estudio solo se efectúa a nivel de resultados prácticos.

De acuerdo a lo anteriormente señalado se hace necesario efectuar un estudio global del comportamiento de aditivos superplastificantes con la finalidad de brindar y/o contar con la confianza suficiente para su aplicación.

La presente investigación abarca dos grandes partes; la primera se refiere a la evaluación del aditivo superplastificante sika viscocrete-3 estudiándolo en concreto con diferentes tipos de cemento y distintos porcentajes de aditivo para una relación de agua/cemento de 0.45, para así determinar claramente su comportamiento, los beneficios obtenidos por su utilización y su conformidad con las normas y la segunda parte es un estudio de las investigaciones

realizadas con aditivos superplastificantes en la FIC-UNI dichos estudios se verifican con las Normas ASTM-C-494 TIPO F.

Este estudio consta de 11 capítulos, los cuales están estrechamente correlacionados. En el capítulo I se trata del cementante y de los aspectos de su hidratación; los capítulos II y III tratan respectivamente de los agregados y del agua utilizados; en el capítulo IV trata del estudio de aditivos las razones para su empleo y clasificación; el capítulo V trata sobre los aditivos superplastificantes su mecanismo de acción, propiedades y usos en este capítulo incluyen las propiedades del aditivo superplastificante Sika Viscocrete-3; en el capítulo VI se hace un estudio del concreto y de la estructura del concreto; capítulo VII trata de los procedimientos seguidos para el diseño de mezclas de concreto sin aditivo y con aditivo en el capítulo VIII se abordan las principales propiedades del concreto fresco y endurecido, también se presentan los resultados obtenidos del programa de ensayos efectuados; en el capítulo IX aborda las síntesis de investigaciones realizadas en la FIC-UNI en los últimos años; en el capítulo X se realizó un estudio analítico de las síntesis de investigaciones realizadas en la FIC – UNI en la cual también incluye el aditivo Sika Viscocrete 3 estudiada en esta investigación; en el capítulo XI se efectúa un análisis de costos de las síntesis de investigaciones realizadas en la FIC-UNI para determinar criterios de costo beneficio en el empleo del aditivo en las mezclas de concreto.

CAPITULO I

CEMENTOS PORTLAND

1.1. GENERALIDADES

Los cementos Portland se obtienen por molturación conjunta de su clinker y de la cantidad adecuada de regulador de fraguado que es, normalmente, piedra de yeso natural. Se llama clinker de cemento Portland al producto que se obtiene al calcinar hasta fusión parcial (unos 1400°C a 1500°C de temperatura) mezclas muy íntimas preparadas artificialmente de calizas y arcillas, hasta conseguir, prácticamente, la combinación total de sus componentes.

Algunos países admiten que, además de los componentes clinker y piedra de yeso, correspondiente a los cementos Portland puros, este pueda contener otras adiciones de carácter activo limitadas tanto cualitativa como cuantitativamente. En este caso el cemento cambia de denominación. Además de los componentes principales clinker y piedra de yeso, contienen escoria siderúrgica, puzolana, o ambas, en proporción no superior al 20% del peso del cemento.

Los cementos Portland con adiciones activas, cuyo desarrollo parece impulsado por el deseo de ahorro de energía, tienen un comportamiento intermedio entre los Portland sin adiciones, por un lado y los cementos siderúrgicos o puzolanicos por otro. Como más adelante se indica, estos dos últimos cementos contienen mas de 20% de escoria o puzolana. Se pasa pues, sin solución de continuidad, del cemento Portland puro a los siderúrgicos o puzolanicos a través del cemento Portland con adiciones activas. Por ello, en lo que sigue no nos referiremos a estos últimos ya que el mayor o menor porcentaje de adiciones les acercará más a uno u otro tipo de los cementos mencionados.

1.2. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO

El proceso de fabricación del cemento comienza con la obtención de las materias primas necesarias para conseguir la composición deseada de óxidos metálicos para la producción de clínker.

El clínker se compone de los siguientes óxidos (datos en porcentaje)

	Porcentaje %
Óxido de calcio "cal" (CaO)	60-69
Óxido de Silicio "sílice"	18-24
Óxido de Aluminio "alúmina" (Al ₂ O ₃)	4-8
Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	1-8

La obtención de la proporción adecuada de los distintos óxidos se realiza mediante la dosificación de los minerales de partida:

- Caliza y marga para el aporte de CaO.
- Arcilla y pizarras para el aporte del resto óxidos.

Las materias primas son transportadas a la fábrica de cemento donde se descargan para su almacenamiento.

La prehomogenización realizada mediante diseños adecuados del apilamiento y la extracción de los materiales en los almacenamientos reduce la variabilidad de los mismos.

Los estudios de composición de los materiales en las distintas zonas de cantera y los análisis que se realizan en fábrica permiten dosificar la mezcla de materias primas para obtener la composición deseada.

1.2.1. Molienda y cocción de materias primas

La finalidad de la molienda es reducir el tamaño de las partículas del material para que las reacciones químicas de cocción en el horno puedan realizarse en forma adecuada.

La molienda de materias primas (molienda de crudo) se realiza en equipos mecánicos rotatorios, en los que la mezcla dosificada de materias primas es sometida a impactos de cuerpos metálicos o a fuerzas de compresión elevadas.

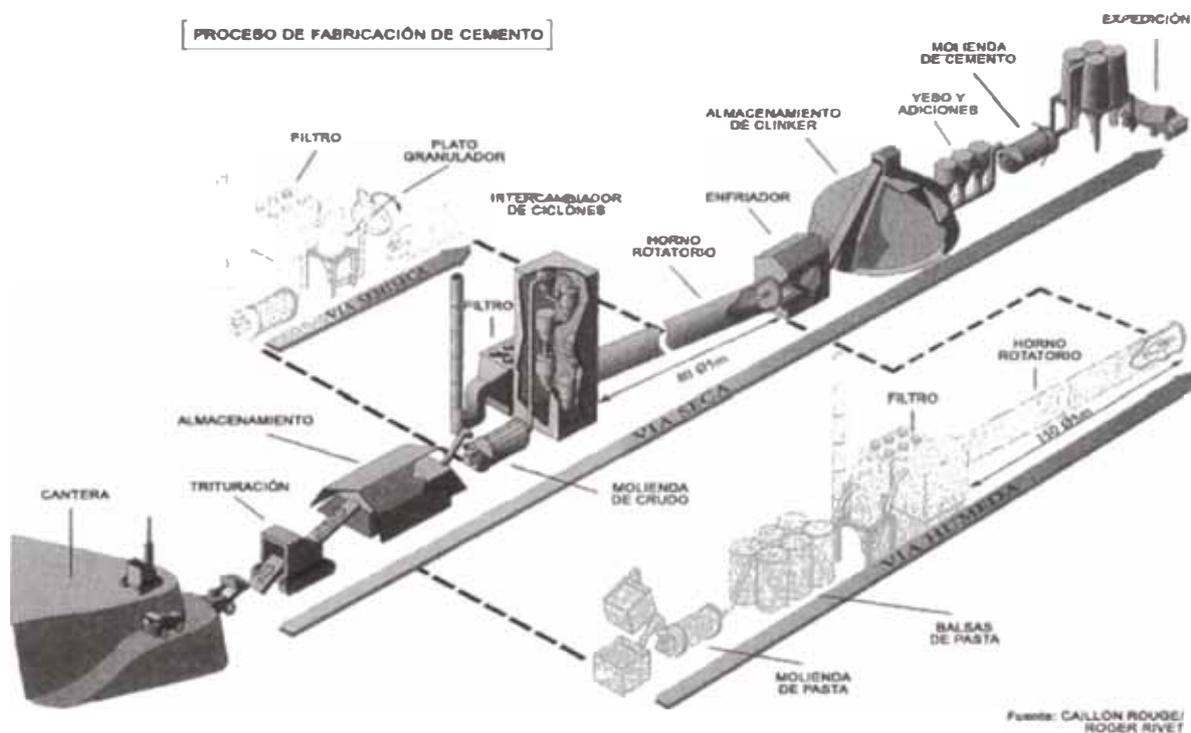


Grafico 1.2.1.- Proceso de fabricación del cemento.

1.2.2. Procesos de fabricación del clinker

1. Vía Seca
2. Vía húmeda
3. Vía semi-seca,
4. Vía semi-húmeda

1. Proceso de vía seca

La materia prima es introducida en el horno en forma seca y pulverulenta.

2. Proceso de vía húmeda

Este proceso es utilizado normalmente para materias primas con alto contenido de humedad.

El material de alimentación se prepara mediante molienda conjunta con agua.

3 y 4. Procesos de vía semi-seca y semi-húmeda

El material de alimentación se consigue añadiendo o eliminando agua respectivamente, al material obtenido en la molienda de crudo.

En todos los casos el material procesado en el horno rotatorio alcanza una temperatura alrededor de los 1450°C. Es enfriado bruscamente al abandonar dicho horno en enfriadores planetarios o de parrillas obteniéndose de esta forma el clínker.

1.2.3. Molienda de cemento

El proceso de fabricación de cemento termina con la molienda conjunta de clínker, yeso y otros materiales denominados "adiciones".

Los materiales utilizables, que están normalizados como adiciones, son entre otros:

- Escorias de alto horno.
- Humo de sílice.
- Puzolanas naturales.
- Cenizas volantes.
- Caliza.

En función de la composición, la resistencia y otras características adicionales, el cemento es clasificado en distintos tipos y clases.

- La molienda de cemento se realiza en equipos mecánicos en las que la mezcla de materiales es sometida a impactos de cuerpos metálicos o a fuerzas

Una vez obtenido el cemento se almacena en silos para ser envasado o cargado a granel.

1.3. CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DEL CEMENTO

La influencia que el cemento Portland ejerce en el comportamiento y propiedades de la pasta cementante del concreto, derivan fundamentalmente de la composición química del clinker y de su finura de molienda. En el caso de los cementos Portland-puzolana, habría de añadir a esos dos factores los referentes a las características físicas y químicas de la puzolana y el contenido de esta en el cemento.

1.3.1. Composición química del cemento

Las características y propiedades del cemento Portland están íntimamente ligadas a su composición química y a su constitución potencial. La primera se determina por análisis y viene expresada en forma de óxidos. La composición química media de un cemento Portland puede ser la siguiente:

Cal combinada	CaO	62.5%
Silice	SiO ₂	21.0%
Alúmina	Al ₂ O ₃	6.5%
Hierro	Fe ₂ O ₃	2.5%
Azufre	SO ₃	2.0%
Cal libre	CaO	0.0%
Magnesia	MgO	2.0%
Pérdida al fuego	P.F.	2.0%
Residuo Insoluble	R.I.	1.0%
Álcalis	Na ₂ O+K ₂ O	0.5%

Los cuatro primeros componentes son los principales del cemento, de carácter básico la cal y de carácter ácido los otros tres.

Los restantes componentes puede decirse que son los indeseables del cemento. A continuación se comentan brevemente:

a) Oxido cálcico libre, CaO.

La cal libre y el hidróxido cálcico coexisten normalmente en el cemento anhidro. Una parte de la primera se hidrata y pasa a la segunda durante el amasado, pero si el contenido en CaO libre del cemento es superior al 1.5 o 2%, queda otra parte capaz de hidratarse en el transcurso del endurecimiento, es decir, a edades medias o largas, lo que puede producir fenómenos expansivos.

b) Oxido magnésico, MgO.

La magnesia MgO puede presentarse en el clinker en estado vítreo (por enfriado enérgico) o en estado cristalizado (periclasa), siendo esta última forma realmente peligrosa, debida a su lenta hidratación para pasar a hidroxidomagnesico $Mg(OH)_2$ en un proceso de carácter expansivo. Por ello se limita el contenido en magnesia a un 5% como máximo.

c) Trióxido de azufre, SO_3

El azufre proviene de la adición de piedra de yeso que se hace al clinker durante la molienda para regular su fraguado, pudiendo también provenir del combustible empleado en el horno. Un exceso de SO_3 puede conducir al fenómeno del falso fraguado, por lo que conviene ser estricto en comprobar que no se rebase la limitación impuesta por el pliego correspondiente. Un contenido en SO_3 inferior al 4% es aceptable.

d) Pérdida al fuego.

Cuando su valor es apreciable, la pérdida al fuego proviene de la presencia de adiciones de naturaleza caliza o similar, lo cual no suele ser conveniente. Si el cemento ha experimentado un prolongado almacenamiento, la pérdida al fuego puede provenir del vapor de agua del CO_2 presentes en el conglomerante, siendo entonces expresiva de una meteorización del cemento.

e) Residuos insolubles.

Proviene de la presencia de adiciones de naturaleza silíceas. No deben superar el 2.5 a 3%.

f) Alcalis.

Proviene en general de los materiales y se volatiliza en buena parte, encontrándose luego en el polvo de los humos de las fábricas de cemento. No suelen superar el 0.8%.

1.3.2. Composición Potencial

Los cuatro componentes principales anteriormente citados (cal, sílice, alúmina y hierro) no se encuentran libremente en el cemento, si no combinados formando silicatos, aluminatos y ferritos cálcicos, que son los constituyentes hidráulicos del mismo o componentes potenciales.

Los principales constituyentes del cemento Portland son (1): el silicato tricálcico (SC3), el silicato bicálcico (SC2), el aluminato tricálcico (AC3) y el aluminoférrico tetracálcico (AFC4), a los que hay que añadir los componentes secundarios anteriormente mencionados (el yeso, los álcalis, la cal libre y la magnesia libre).

En la hidratación de los silicatos citados se producen cal libre, a cuyo elevado PH se debe la gran alcalinidad del medio ($\text{PH} \geq 12$), lo que asegura la protección química de las armaduras en el concreto armado. Pero a la vez, el hidróxido cálcico constituye un punto débil para el material en ambientes agresivos, ya que la presencia de la cal unida a la eventual presencia de sulfatos aportados por el medio agresivo produce el sulfoaluminato tricálcico hidratado (sal de Candlot) en un proceso fuertemente expansivo que arruina el concreto.

Sin embargo, es un hecho probado que los cementos de alta saturación en cal (alto contenido en silicato tricálcico) poseen mayores resistencias mecánicas. La conclusión es que debe buscarse, en cada caso particular una solución de compromiso entre resistencia mecánica y resistencia química ya que no es posible conseguir el máximo de ambas simultáneamente.

Un clinker de cemento Portland de tipo medio contiene:

Silicato tricálcico SC_3	40 a 50%
Silicato bicálcico SC_2	20 a 30%
Aluminato tricálcico AC_3	10 a 15%
Aluminoferrito tetracálcico AFC_4	5 a 10%

1.3.3. Características Físicas Y Mecánicas

Las características físicas y mecánicas más importantes son: finura de molido, peso específico, fraguado, expansión y resistencias mecánicas.

1.3.3.1. Finura

Es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento, ya que influye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante el fraguado y el primer endurecimiento.

Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan solo en una profundidad de 0.01 mm, por lo que, si dichos granos fuesen muy gruesos su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte.

Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de fraguado serían muy altos (lo que, en general, resulta perjudicial); el conglomerante resulta ser más susceptible a la meteorización (envejecimiento) tras un almacenamiento prolongado y disminuye su resistencia a las aguas agresivas; pero siendo así, que las resistencias mecánicas aumentan con la finura, se llega a una situación de compromiso: el cemento Portland debe estar finamente molido, pero no en exceso.

1.3.3.2. Peso específico.

El peso específico real varía muy poco de unos cementos a otros oscilando entre 3 y 3.15 g/cm³. La limitación establecida por algunas normas (igual o superior a 3) se cumple prácticamente siempre.

1.3.3.3. Fraguado.

La velocidad de fraguado de un cemento viene limitada por las normas estableciendo un período de tiempo, a partir del amasado, dentro del cual

deben de producirse el principio y el fin del fraguado. Ambos conceptos se definen de un modo convencional mediante la aguja de Vicat, ya que el fraguado es un proceso continuo que se inicia al amasar el cemento y se prolonga por el endurecimiento sin solución de continuidad.

Las penetraciones de la aguja de Vicat sobre una probeta de pasta normal de cemento en función del tiempo, dan una idea del proceso de fraguado.

1.3.3.4. Expansión.

La expansión puede medirse por el método del autoclave, normalmente empleado en Estados Unidos, o por el método de las agujas de Le Chatelier, de origen francés.

El ensayo de autoclave es un ensayo acelerado que, al combinar presión con temperatura, pone de manifiesto a corto plazo el carácter más o menos expansivo que tendrá un cemento a largo plazo debido a la presencia de magnesio o de la cal libre en exceso. Si el cemento presenta una expansión en autoclave inferior al 0.8% (límite fijado por las normas ASTM) puede asegurarse que no será expansivo en obra. En caso contrario, podrá presentar expansiones o no, según condiciones y circunstancias prácticamente imponderables.

1.3.3.5. Resistencias mecánicas.

Como resistencia de un cemento se entiende la de un mortero normalizado, amasado con arena de Segovia de granulometría determinada y con relación agua/cemento igual a 0.5.

Las probetas son prismáticas de 4 x 4 x 16 cm, se rompen primero a flexo tracción con carga centrada y luego cada uno de los trozos resultantes se rompen a compresión sobre superficie de 4 x 4 cm². Las roturas se efectúan normalmente a los 3, 7 y 28 días.

La resistencia de un concreto será tanto mayor cuanto mayor sea la del cemento empleado. Pero esta característica no es la única que debe buscarse, pues en ocasiones resulta de signo opuesto a otras igualmente necesarias, como por ejemplo las de durabilidad.

1.4. HIDRATACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND.

El cemento Portland anhidro no se une a la arena y a la grava, adquiere la propiedad adhesiva solamente cuando se le mezcla con agua. Esto es por la reacción química del cemento y el agua llamada comúnmente hidratación del cemento; rinde productos que poseen características de fraguado y de endurecimiento. Brunauer y Copeland describieron acertadamente la importancia de la hidratación del cemento Portland en la tecnología del concreto.

La química del concreto es esencialmente la química de la reacción entre el cemento Portland y el agua. En cualquier reacción química los aspectos principales de interés son los cambios en la materia, los cambios de energía y la rapidez de la reacción. Estos tres aspectos de una reacción tienen una gran importancia práctica para el usuario del cemento Portland. El conocimiento de las sustancias que se forman cuando el cemento Portland reacciona es importante por que el cemento mismo no es un material cementante; sus productos de hidratación son los que poseen la acción cementante. El conocimiento de la cantidad de calor liberado es importante porque el calor es algunas veces una ayuda y otras veces es un obstáculo. El conocimiento de la rapidez de la reacción es importante porque determina el tiempo de fraguado y de endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para permitir que el concreto sea colocado en su lugar. Por otra parte, después de que el concreto ha sido colocado es conveniente un endurecimiento rápido.

1.4.1. Mecanismo de hidratación.

Se han propuesto dos mecanismos de hidratación. Uno es la hidratación de la solución total que comprende la disolución de los compuestos anhidros a sus constituyentes iónicos, la formación de hidratos en la solución y debido a su baja solubilidad, la precipitación final de los hidratos de la solución sobresaturada. Así, el mecanismo de la solución total contempla la reorganización completa de los constituyentes de los compuestos originales durante la hidratación del cemento.

De acuerdo con el otro mecanismo, llamado topoquímica o hidratación del estado sólido del cemento, las reacciones se llevan acabo directamente en la

superficie de los compuestos anhidros sin que hayan sido disueltos. En estudios de microscopía electrónica de pastas de cemento hidratado, se puede observar que el mecanismo de solución total es dominante en las etapas tempranas de la hidratación del cemento.

A edades posteriores, cuando la movilidad iónica en solución se ve restringida, la hidratación de las partículas de cemento residual se sucede por reacciones del estado sólido.

Puesto que el cemento Portland está formado de una mezcla heterogénea de varios compuestos, el proceso de hidratación consiste en reacciones simultáneas que ocurren en los compuestos anhidros con agua. Sin embargo, todos los compuestos no se hidratan a la misma velocidad. Se sabe que los aluminatos se hidratan más rápidamente que los silicatos. En realidad, las características de la rigidización (pérdida de consistencia) y del fraguado (solidificación) de una pasta de cemento Portland, son determinadas en gran parte por las reacciones de hidratación que involucran a los aluminatos.

Los silicatos que representan aproximadamente 75% del cemento Portland ordinario, juegan un papel predominante para determinar las características del endurecimiento (velocidad de desarrollo de la resistencia). Con el propósito de obtener un entendimiento claro de los cambios físicos y químicos durante la hidratación del cemento Portland.

1.5. TIPOS DE CEMENTO Y SUS APLICACIONES PRINCIPALES.

A partir del conocimiento de las velocidades relativas de reactividad y de los productos de hidratación de los compuestos individuales, es posible diseñar cementos con características especiales tales como alta resistencia inicial, bajo calor de hidratación, o resistencia moderada a los sulfatos. En tal forma, el ASTM C-150 Standard Specification for Portland Cement, cubre los siguientes 8 tipos de cemento Portland:

- **Tipo I:** Para usarse cuando las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo no son requeridas. No se imponen límites en ninguno de los cuatro compuestos principales.

- **Tipo IA:** Cemento con aire incluido, en donde se desea la inclusión de aire (por ejemplo, para elaborar concreto resistente al congelamiento).
- **Tipo II:** Para uso general, mas específicamente cuando se desea resistencia moderada a los sulfatos o un calor moderado de hidratación, puesto que el C_3A y el C_3S producen altos calores de hidratación, la especificación limita el contenido de C_3A del cemento a un máximo de 8% y tienen un límite opcional máximo de 58%: la suma de C_3S y C_3A (este límite se aplica cuando se requiere un calor moderado de hidratación y los datos de pruebas para el calor de hidratación no están disponibles).
- **Tipo IIA:** Cemento tipo II con aire incluido, cuando se desea la inclusión de aire.
- **Tipo III:** Para usarse cuando se desea una alta resistencia inicial. Para asegurar que la alta resistencia no se debe principalmente a los productos de hidratación de C_3A , la especificación limita el contenido de C_3A del cemento a un máximo del 15%. Generalmente la alta resistencia inicial del cemento Portland del tipo III se debe a la superficie específica mas alta, de aproximadamente 500 m^2/kg Blaine, en lugar de 330 a 400 m^2/kg del cemento Portland tipo I.
- **Tipo IIIA:** cemento Tipo III con aire incluido, cuando se desea la inclusión de aire.
- **Tipo IV:** Para usarse cuando se desee un bajo calor de hidratación puesto que el C_3S y el C_3A producen alto calor de hidratación, pero el C_2S produce mucho menos calor, la especificación fija límites máximos de 35 y 7 % de C_3S y C_3A respectivamente y requiere también un mínimo del 40% de C_2S en el cemento.

- **Tipo V:** Para usarse cuando se desee una alta resistencia a los sulfatos. La especificación fija un límite máximo de 5% de C_3A que se aplica cuando las pruebas de expansión por sulfato no se requieren. Debe hacerse hincapié en que el producto último de hidratación en los cementos que contienen más de 5% de C_3A potencial, calculado por las ecuaciones de Bogue, es el monosulfato hidratado, que es inestable cuando se expone a una solución de sulfato: la etringita es el producto estable en los ambientes sulfatados y la conversión del monosulfato a etringita está asociada generalmente a la expansión y al agrietamiento.

Cementos hidráulicos especiales

Con una notable excepción, los cementos hidráulicos especiales pueden ser considerados como cementos Portland modificados, en el sentido de que son hechos ya sea alterando la composición del compuesto del clínker de cemento Portland o bien mezclándolo con ciertos aditivos o ambas cosas.

1.6. LOS CEMENTOS PERUANOS Y SUS CARACTERÍSTICAS.

Actualmente se fabrican en el Perú los cementos Tipo I, Tipo II, Tipo V, Tipo IP, Tipo IPM, Tipo MS y Tipo ICo.

En general los cementos nacionales siguen los comportamientos típicos a largo plazo que es factible esperar de cementos similares fabricados en el extranjero; sin embargo, la experiencia en el uso de ellos nos permite afirmar que las propiedades a corto plazo no siempre mantienen parámetros constantes, por lo que nunca debe confiarse a priori en ellos sin efectuar pruebas de control para el caso de obras de cierta importancia.

Por otro lado, los fabricantes locales tienen mucha experiencia en la elaboración de cemento, pero ninguno la tiene en la aplicación práctica de este material en la producción de concreto dado que muy rara vez recopilan estos datos o hacen investigación en concreto, por lo que es muy poca la información que pueden aportar en este sentido y además, hay usualmente reticencia para suministrar resultados de sus controles de calidad en forma rutinaria.

No existe información periódica publicada por los fabricantes sobre aspectos básicos como la variación del desarrollo de la resistencia en el tiempo, variación de la hidratación en función de las condiciones ambientales, características de las puzolanas que emplean en los cementos mezclados, estadísticas de los controles interlaboratorios que realizan, etc. Información que sería sumamente útil para los usuarios e investigadores, evitando muchas situaciones en que se espera un comportamiento por extrapolación con información foránea o con información local incompleta y se obtiene otro por falta de datos confiables.

Cabe acotar que la introducción de los cementos puzolánicos y puzolánicos modificados en nuestro medio ha traído beneficios desde el punto de vista en que tienen ventajas referidas a durabilidad, además de ser convenientes para el fabricante, pues al reemplazar cemento por puzolana abarata los costos y, los precios de venta experimentan cierta reducción, pero estas ventajas no son del todo aprovechadas por cuanto no ha habido suficiente investigación y difusión lo que trae como consecuencia deficiencia en su utilización por parte del usuario.

Cuadro 1.6.1.-Tipos y clases de cementos peruanos.

Empresas	Cemento Portland							Cemento Albañilería
				Puzolánico		MS	ICo	
	I	II	V	IP	I(PM)			
Cemento Andino	✓(1)	✓(1)	✓(1)		✓			
Cementos Lima	✓	✓(1)		✓				
Cemento Pacasmayo	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Cemento Rioja					✓			
Cementos Sur	✓	✓(2)	✓(2)		✓			
Cementos Yura	✓			✓	✓			✓

- (1) de bajo contenido de álcalis
- (2) a pedido

Fuente : Asocem

1.7. CEMENTOS UTILIZADOS EN ESTA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Cemento portland Tipo I – Sol

Este cemento es el de mayor difusión en el mercado local y posee las siguientes características:

Norma Técnica: ASTM C-150 y NTP (Norma Técnica Peruana) 334.009

Marca Comercial: SOL.

Presentación: Bolsas de 42.5 kg (sacos de dos pliegos) o a granel.

Es un producto obtenido de la molienda del clinker. Ofrece un endurecimiento controlado y con el se logran altas resistencias a temprana edad. Es versátil para muchos usos. A partir de este cemento se logran otros tipos de cemento. Su comportamiento es ampliamente conocido por el sector de construcción civil en todos sus niveles en el mercado peruano.

Sus usos y aplicaciones entre otros son los siguientes:

En la construcción de edificaciones de mediana y gran envergadura.

Fabricaciones pretensadas.

Cuando se requiera acelerar el desencofrado o se necesiten poner las obras en servicio rápidamente.

Otorga una buena performance en obras importantes con tensiones medias o fuertes. Muy bueno para concretos aligerados, densos, prefabricados y normales. Excelente para el mortero en el asentado de ladrillos y otros materiales.

Para una buena utilización del cemento Portland Tipo I Sol han de seguirse los siguientes consejos prácticos:

Es importante utilizar agregados de buena calidad, si éstos están húmedos es recomendable dosificar menor cantidad de agua para mantener el diseño de mezcla correcto.

Para lograr resistencias adecuadas es recomendable un curado cuidadoso.

Para asegurar la buena conservación del cemento se recomienda almacenar las bolsas bajo techo, separada de paredes o pisos y protegidos del aire húmedo.

Evitar almacenar en pilas más de 10 bolsas para evitar la compactación.

1.7.2. Cemento portland Tipo V - Andino

El cemento Portland tipo V es un producto producido por la fábrica de cemento Andino ubicada en Condorconcha, Distrito de la Unión Leticia, Provincia de Tarma, departamento de Junín en Perú. Este cemento está sujeto a la norma técnica Norteamericana ASTM C-150, la norma peruana NTP 334.009:1997 y la norma NTE.E.060.89 que forma parte del reglamento nacional de construcciones. Se le envasa en bolsas de papel (3 pliegos) de 42.5 kg. de color azul.

De acuerdo con el reglamento nacional de construcciones, el cemento tipo V se utiliza en condiciones de exposiciones severas a los sulfatos, en el orden de 1500 a 10000 ppm, es por esto que este cemento es recomendado en todas las obras de concreto en las que se requiera una elevada resistencia a la acción de los sulfatos. Otras características importantes son que el cemento Andino tipo V proporciona bajo calor de hidratación y tiene muy bajo contenido de C_3A .

1.7.3. El cemento portland Puzolánico Tipo IP de Cementos Lima s.a.

Los cementos puzolánicos se pueden obtener ya sea de la mezcla de la puzolana, previamente molida a una alta finura, con el cemento ya fabricado, o por su dosificación durante la molienda junto con los otros componentes. En nuestro caso, la adición de la puzolana se hace mezclándola con el clinker y el yeso en el momento de la molienda, lo que nos garantiza un producto más uniforme y homogéneo.

puzolanica sobrepasaba fácilmente los requerimientos establecidos, no siendo por ello necesario someterla a un tratamiento adicional para activarla.

LA PUZOLANA DE CEMENTOS LIMA S.A. es del yacimiento en las cercanías de la fábrica de Atocongo.

ORIGEN GEOLÓGICO

La puzolana es de origen volcánico, de la edad Cretácica y esta formada por la intercalación de andesitas con matriz afanítica y porfirítica, vidrio volcánico, habiendo recibido un aporte posterior de pirritas.

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

De acuerdo al análisis mineralógico hecho con difracción de Rayos-X, su composición promedio es la siguiente:

Cuarzo	18%
Feldespato	15%
Anfibolita	3%
Hematita	10%
Otros materiales arcillosos	4%
Material amorfo	50%

Es decir, hay aproximadamente 50% de materiales cristalizados inertes y 50% de material amorfo o vidrioso, responsable de la reacción hidráulica de la puzolana.

COLOR

Debido a la presencia de la hematita, mineral de hierro oxidado, su coloración es rojiza, lo cual a su vez, hace que el cemento resultante tenga un color rosado y que al añadirsele agua presente un aspecto barroso, como ocurre igualmente en el concreto.

EL CLÍNKER DE CEMENTOS LIMA S.A.

Debido a la excelente composición de dicha materia prima, el clinker que se produce en la fábrica de Atocongo tiene características adecuadas para recibir adiciones, por su alta saturación, elevado

contenido de C_3S y como consecuencia de ello, altas resistencias iniciales.

Ello permite obtener un Cemento Portland Puzolánico tipo IP, que a diferencia de los que normalmente se producen en otros mercados, presenta la característica de tener resistencias a los 7 días mayores que el promedio de cementos Portland tipo I, manteniendo las ventajas generales de los cementos Portland Puzolánicos.

CAPITULO II

AGREGADOS PARA CONCRETOS

2.1. GENERALIDADES

Los agregados son relativamente económicos y no entran en reacciones químicas complejas con el agua, por lo tanto, ha sido

costumbre tratarlos como un relleno inerte en el concreto; sin embargo, debido al creciente conocimiento del papel que juegan los agregados para determinar muchas propiedades importantes del concreto, la idea tradicional del agregado como relleno inerte está siendo seriamente cuestionada.

Las características del agregado que son significativas para la tecnología del concreto incluyen la porosidad, la gradación o distribución de tamaños, la absorción de humedad, la forma y la textura de la superficie, la resistencia a la rotura, el módulo de elasticidad y los tipos de sustancias nocivas presentes.

Estas características se derivan de la composición mineralógica de la roca original (que es afectada por los procesos de formación geológica), las condiciones de exposición a las que la roca ha estado sujeta antes de formar el agregado y el tipo de operación y de equipo que se ha utilizado para producirlo.

Sabemos que los cementos están formados por compuestos químicos que entran en reacción química con el agua para generar productos complejos de hidratación con propiedades aglutinantes. A diferencia del cemento, y a pesar de que el agregado en el concreto ocupa de 60 a 80% del volumen, es frecuentemente considerado como relleno inerte y por lo tanto no merecedor de mucha atención con respecto a su posible influencia en las propiedades del concreto. Es considerable la influencia que el agregado pueda ejercer en la resistencia, estabilidad dimensional y durabilidad del concreto; además de estas importantes propiedades del concreto endurecido, los agregados también juegan un papel preponderante en la determinación del costo y la trabajabilidad de la mezcla; por lo tanto no es apropiado tratarlos con menos respeto que a los cementos.

2.2. PROCESO DE OBTENCIÓN DE LOS AGREGADOS DE CANTERA

Los depósitos de agregados gruesos del suelo son una buena fuente de arena natural y grava. Puesto que los depósitos del suelo usualmente contienen diversas cantidades de limo y arcilla que afectan adversamente las propiedades tanto del concreto fresco como del concreto endurecido, estos materiales deben separarse por medio de lavado o por cribado en seco. La selección del procedimiento de lavado o de cribado en el caso del limo y de la arcilla, influirá notablemente en la cantidad de sustancias nocivas del agregado; por ejemplo, los recubrimientos de arcilla no pueden ser removidos tan adecuadamente por medio del cribado en seco como lo son por medio del lavado. Generalmente el equipo de triturado es una parte de las instalaciones para la producción del agregado, ya que la grava de gran tamaño puede ser triturada y mezclada adecuadamente con el material no triturado de igual tamaño. De nuevo la selección del equipo triturador puede determinar la forma de las partículas. Con rocas sedimentarias laminadas, los trituradores de mandíbula y los trituradores de impacto, tienden a producir partículas planas.

La importancia del gradado adecuado del agregado en el costo del concreto esta en la actualidad tan bien establecida que las plantas modernas de agregados, sea que produzcan arena y grava o roca triturada, tienen el equipo necesario para realizar las operaciones que comprenden el triturado, limpiado, separación de tamaños y combinación de dos o más fracciones para cumplir con las especificaciones del cliente.

Los agregados sintéticos de peso ligero tales como las arcillas expandidas, las lutitas y la pizarra, se producen por tratamiento caliente de los materiales adecuados. Trituradas y dimensionadas o molidas y granuladas, las materias primas se exponen a temperaturas generalmente del orden de 1000 a 1100°C, en tal forma que una parte del material se funde produciendo un fundido viscoso. Los gases desarrollados como resultado de la descomposición química de algunos de los elementos constituyentes de las materias primas, son atrapados por la sustancia viscosa, expandiendo así la masa sinterizada. En general, las materias carbonáceas o los minerales de carbono son las fuentes de estos gases, los álcalis y otras impurezas en la arcilla o en la pizarra, son los responsables de la fusión a baja temperatura.

El tratamiento por calor generalmente se lleva a cabo en un horno rotatorio de gas o de petróleo, similar a aquellos utilizados para elaborar el cemento Portland. Muchas plantas saturan al vacío el producto con humedad, antes de entregarlo al cliente, para facilitar un mejor control en la consistencia del concreto fresco.

Las propiedades del agregado son fuertemente afectadas por el recubrimiento exterior en las partículas del agregado y en la distribución interna de los huecos. Las plantas modernas de agregado de peso ligero trituran, muelen, mezclan y granulan los materiales para obtener una distribución uniforme de los poros finos, lo que es necesario para producir materiales que contengan una alta resistencia a la trituración. Los recubrimientos vidriosos estables e impermeables tienden a reducir la capacidad de absorción de humedad del agregado, lo que afecta su demanda de agua y sanidad.

2.3. CANTERA DE JICAMARCA.

Los agregados finos y grueso utilizados fueron proporcionados por la empresa UNICON, y son de procedencia de la cantera de Jicamarca, situada a unos 3 km aproximadamente del inicio de la autopista Ramiro Prialé de Huachipa. Estos agregados son de origen aluvial y coluvial, cuya explotación se realiza a tajo abierto y su producción diaria es de 2800 a 3000 toneladas. Por otro lado presenta un área de explotación de 6 a 8 millones de metros cúbicos. Estos agregados son previamente pasados por una chancadora primaria y secundaria, luego de ser tamizados y separados, la arena es lavada previamente en su cantera antes de su uso y comercialización.

2.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

2.4.1. AGREGADO FINO

2.4.1.1. GRANULOMETRÍA. (Norma de ensayo NTP 400.012)

La granulometría es la distribución de las partículas de materiales granulares de varios tamaños que generalmente se expresa en términos de porcentajes acumulados mayores o menores que cada una de las series de tamaños o de aberturas de mallas, o los porcentajes entre

ciertos rangos de aberturas de mallas. Los requisitos de granulometría del ASTM C-33 para agregados finos se muestra en la siguiente tabla:

Cuadro 2.4.1.1.1.- Requisito de Granulometría para agregados finos.

Requerimientos de granulometría para agregados finos	
Malla	Porcentaje que pasa
9.5 mm	100
4.75 mm (N° 4)	95-100
2.36 mm (N° 16)	80-100
1.18 mm (N° 30)	50-85
600 μm (N° 50)	25-60
300 μm (N° 100)	10-30
150 μm (N° 100)	2-10

Hay varias razones para especificar los límites de granulometría y el tamaño máximo del agregado, siendo lo más importante su influencia en la trabajabilidad y en el costo.

Por ejemplo, las arenas muy gruesas producen mezclas de concreto ásperas y difícilmente trabajables y las arenas muy finas incrementan los requisitos de agua (por lo tanto incrementan también el requerimiento del cemento para una relación dada de agua/cemento) y resultan antieconómicas; los agregados con deficiencia o exceso de cualquier tamaño en particular, producen mezclas de concreto más trabajables y económicas.

**Cuadro 2.4.1.1.2.- Ensayos de granulometría del agregado
fino (arena)**

NORMA: ITINTEC 400.012 ITINTEC 400.037

PROCEDENCIA: CANTERA DE JICAMARCA

PESO DE LAS MUESTRAS: 500 gr/muestra

MALLAS GRANULOMETRICAS NORMALIZADAS	ENSAYO 1			ENSAYO 2		
	PESO RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO EN CADA MALLA	PESO RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO EN CADA MALLA
TAMIZ ASTM	gr	%	%	gr	%	%
Nº4	19.5	3.90	3.90	17.0	3.40	3.40
Nº8	103.5	20.70	24.60	98.0	19.60	23.00
Nº16	102.0	20.40	45.00	103.0	20.60	43.60
Nº30	95.0	19.00	64.00	98.0	19.60	63.20
Nº50	92.5	18.50	82.50	94.0	18.80	82.00
Nº100	52.5	10.50	93.00	54.5	10.90	92.90
FONDO	35.0	7.00	100.00	35.5	7.10	100.00
TOTAL	500.0	100.00		500.0	100.00	

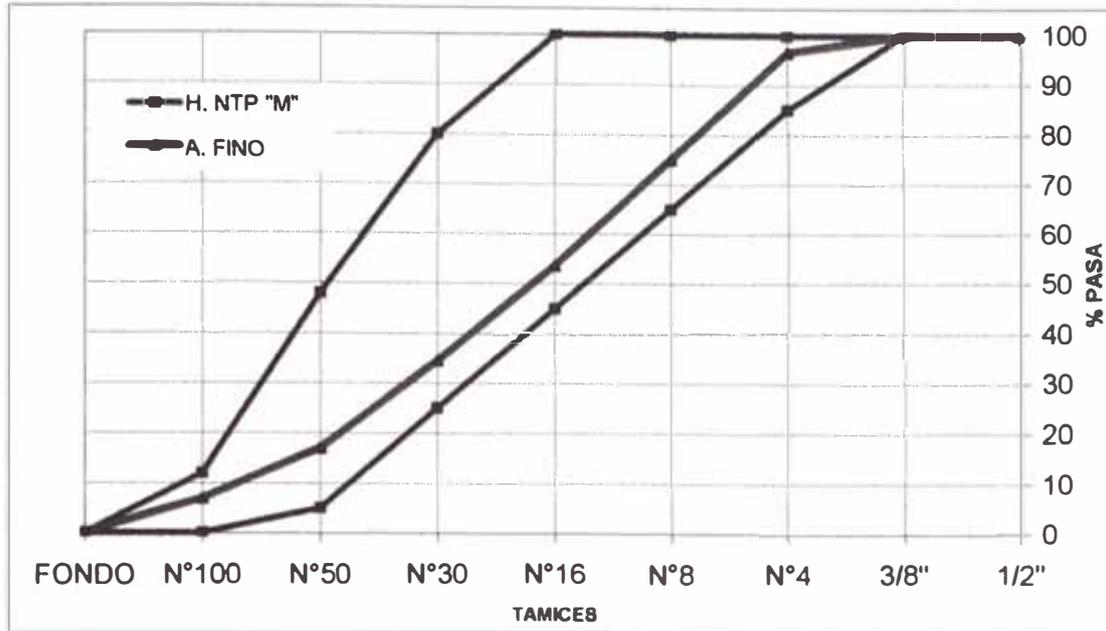
MALLAS GRANULOMETRICAS NORMALIZADAS	ENSAYO 3			ENSAYO 4		
	PESO RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO EN CADA MALLA	PESO RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO EN CADA MALLA
TAMIZ ASTM	gr	%	%	gr	%	%
Nº4	13.5	2.70	2.70	19.5	3.90	3.90
Nº8	104.0	20.80	23.50	125.5	25.10	29.00
Nº16	108.5	21.70	45.20	114.5	22.90	51.90
Nº30	97.5	19.50	64.70	91.5	18.30	70.20
Nº50	88.0	17.60	82.30	75.5	15.10	85.30
Nº100	52.0	10.40	92.70	42.5	8.50	93.80
FONDO	36.5	7.30	100.00	31.0	6.20	100.00
TOTAL	500.0	100.00		500.0	100.00	

Cuadro 2.4.1.1.3.- Granulometría agregado fino, pesos retenidos de cuatro ensayos

TOTAL DE LOS PESOS RETENIDOS DE LOS CUATRO ENSAYOS					
MALLAS GRANULOMETRICAS NORMALIZADAS	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	MUESTRA TOTAL
TAMIZ ASTM	PESO RETENIDO EN CADA MALLA	SUMA DE PESOS RETENIDOS EN LOS ENSAYOS			
	gr	gr	gr	gr	gr
Nº4	19.5	17.0	13.5	19.5	69.5
Nº8	103.5	98.0	104.0	125.5	431.0
Nº16	102.0	103.0	108.5	114.5	428.0
Nº30	95.0	98.0	97.5	91.5	382.0
Nº50	92.5	94.0	88.0	75.5	350.0
Nº100	52.5	54.5	52.0	42.5	201.5
FONDO	35.0	35.5	36.5	31.0	138.0
TOTAL	500.0	500.0	500.0	500.0	2000.0

MALLAS GRANULOMETRICAS NORMALIZADAS	MUESTRA TOTAL	GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO (ARENA)		
TAMIZ ASTM	PESO RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO EN CADA MALLA	PORCENTAJE QUE PASA CADA MALLA (ACUMULADO)
	gr	%	%	%
Nº4	69.5	3.48	3.48	96.53
Nº8	431.0	21.55	25.03	74.98
Nº16	428.0	21.40	46.43	53.58
Nº30	382.0	19.10	65.53	34.48
Nº50	350.0	17.50	83.03	16.98
Nº100	201.5	10.08	93.10	6.90
FONDO	138.0	6.90	100.00	0.00
TOTAL	2000.0	100		

Grafico 2.4.1.1.1 Granulometría agregado fino



2.4.1.2. MODULO DE FINURA. (NTP 400.012)

En la práctica, un factor empírico llamado modulo de finura se utiliza a menudo como un índice de la finura de un agregado. El modulo de finura es calculado por medio de datos de un análisis de cribado, sumando los porcentajes acumulados del agregado retenido en cada una de las Cribas de la serie especificada y dividiendo la suma entre 100. Las cribas utilizadas para determinar el modulo de finura son: No.100(150µm), No.50(300µm), No.30(600µm), No.16(1.18mm), No.8(2.36mm), No.4(4.75mm), 9.5mm, 19mm, 37.5mm y aun mayores que se incrementan en la proporción de 2 a 1. cabe acotar que cuanto mas alto es el modulo de finura, mas grueso será el agregado.

$$M.F. = \frac{(3.48+25.03+46.43+65.53+83.03+93.10)}{100}$$

$$M.F. = 3.17$$

2.4.1.3. IMPUREZAS ORGANICAS. (NTP 400.013)

Ensayo usado para la determinación cualitativa de compuestos orgánicos nocivos en agregados finos, el cual se hace con una solución de hidróxido de sodio (3%), el cual al final del periodo de reposo de 24 horas, se comparo el liquido que sobrenada con el vidrio patrón, el cual resulto ser mas claro, llegando a la conclusión que el agregado fino utilizado para el desarrollo de la tesis no presenta impurezas orgánicas. Las sustancias nocivas son aquellas que están presentes como constituyentes menores, ya sea del agregado fino o del agregado grueso, pero que son capaces de afectar adversamente la trabajabilidad, el fraguado y endurecimiento y las características de durabilidad del concreto.

2.4.1.4. PESO UNITARIO SUELTO (NTP 400.017)

Proceso por el cual es llenado de manera continua el agregado fino sin ejercer presión en un recipiente de volumen conocido. Para este ensayo se utilizo un balde de $1/10\text{pie}^3$ de volumen.

Cuadro 2.4.1.4.1.- Ensayo peso unitario suelto agregado fino

DATOS DEL LABORATORIO		ENSAYO 1 (gr)	ENSAYO 2 (gr)	ENSAYO 3 (gr)
PESO DE LA MUESTRA SUELTA + VASIJA	A	7117.50	7678.00	7687.50
PESO DE LA VASIJA	B	2780.00	2780.00	2780.00
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	C=A-B	4337.50	4898.00	4907.50
PESO DE LA VASIJA + AGUA	L	5611.69	5611.69	5611.69
PESO DEL AGUA=VOLUMEN DEL RECIPIENTE	M=L-B	2831.69	2831.69	2831.69
PESO APARENTE SUELTO	C/M	1.5318	1.7297	1.7331
PESO APARENTE SUELTO PROMEDIO		1664.8 kg/m³		

PESO APARENTE SUELTO = 1664.8 kg/m³

2.4.1.5. PESO UNITARIO COMPACTADO (NTP 400.017)

Proceso en el cual el agregado es llenado en tres capas y por cada una de ellas se ejerce presión en un recipiente de volumen conocido dependiendo del tamaño del agregado. Para este ensayo se utilizó un balde de 1/10 pie³ de volumen.

Este ensayo es importante, por que a partir de los resultados obtenidos podemos clasificar el agregado en livianos, normales y pesados, al igual que calcular el contenido de vacíos. Del resultado obtenido podemos clasificar a este agregado como normal, ya que el puc. de este agregado lo califica como tal.

Cuadro 2.4.1.5.1.- Ensayo peso unitario compactado agregado fino

DATOS DEL LABORATORIO		ENSAYO 1 (gr)	ENSAYO 2 (gr)	ENSAYO 3 (gr)
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA + VASIJA	A	8338.00	8383.50	8329.00
PESO DE LA VASIJA	B	2780.00	2780.00	2780.00
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	C=A-B	5558.00	5603.50	5549.00
PESO DE LA VASIJA + AGUA	L	5611.69	5611.69	5611.69
PESO DEL AGUA=VOLUMEN DEL RECIPIENTE	M=L-B	2831.69	2831.69	2831.69
PESO APARENTE COMPACTADO	C/M	1.9628	1.9789	1.9596
PESO APARENTE COMPACTADO PROMEDIO		1967.1 kg/m³		

PESO APARENTE COMPACTADO =1967.1 kg/m³

2.4.1.6. MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 200 (NTP 400.018)

Con este ensayo se determina el porcentaje de materiales muy fino como el limo, arcilla, etc. Existente en el agregado, ya que valores altos de estos disminuyen la resistencia del concreto. El material debajo de malla No 200 no es recomendable que haya mas del 7 al 8% ya que la mayoría de estos son limos y arcillas, los cuales absorben agua y son expansivas.

Material que pasa la malla N° 200 = 4.43%

2.4.1.7. PESO ESPECIFICO.(NTP 400.022)

Se expresa también como densidad de las partículas individuales y no a la masa del agregado como un todo. Por otro lado el peso específico también es un indicador de la calidad, por ello los que presentan valores bajos indica que es un material poroso, absorbente y débil, mientras que los valores altos indican que son de buena calidad, esto no siempre es seguro, por ello se recomienda que la calidad se verifique por otros ensayos.

Cuadro 2.4.1.7.1.- Ensayos de peso específico y absorción del agregado fino

DATOS DE LABORATORIO		ENSAYO 1 (gr)	ENSAYO 2 (gr)	ENSAYO 3 (gr)	PROMEDIO (gr/cm ³)	PROMEDIO (kg/m ³)
PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO	A	495.5	494.5	493.5		
VOLUMEN DESPLAZADO	V	690.0	695	700		
VOLUMEN INICIAL PROBETA	W	500.0	500	500		
PESO ESPECIFICO DE MASA	A/(V-W)	2.6079	2.5359	2.4675	2.5371	2537.1
PESO DE MASA S.S.S.	500/(V-W)	2.6316	2.5641	2.5000	2.5652	2565.2
PESO ESPECIFICO APARENTE	A/((V-W)-(500-A))	2.6712	2.6095	2.5504	2.6103	2610.3
PORCENTAJE ABSORCIÓN (%)	(500-A)*100/A	0.9082	1.1122	1.3171	1.1125	

PESO ESPECIFICO DE MASA = 2537.1 kg/m³

PESO DE MASA S. S. S. = 2565.2 kg/m³

PESO ESPECIFICO APARENTE = 2610.3 kg/m³

2.4.1.8. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN. (NTP 400.022)

Es la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido en agua durante 24 horas y secada por el mismo periodo de tiempo.

%ABSORCIÓN = 1.11%

2.4.1.9. CONTENIDO DE HUMEDAD. (ASTM C-566)

Es el exceso de agua en un estado saturado y con una superficie seca. En consecuencia el contenido total de agua de un agregado húmedo es igual a la suma de la humedad superficial.

Este es un factor muy importante a considerar para el diseño de un buen concreto, ya que esta característica cambia con el clima y de una pila a otra, por ello se recomienda que el contenido de humedad debe medirse con frecuencia cada vez que se va a fabricar concreto para hacer los ajustes correspondientes a nuestro diseño, para mantener constante nuestra relación a/c.

Cuadro 2.4.1.9.1.- Ensayo de Contenido de humedad del agregado fino

CONTENIDO DE HUMEDAD		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	MH	1000.00	1000.00	1000
PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO	MS	997.50	997.00	997
CONTENIDO DE AGUA	CA=(MH-MS)	2.50	3.00	3.00
		%	%	%
CONTENIDO DE HUMEDAD	CA/MS*100	0.251	0.300	0.300
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO		0.284 %		

CONTENIDO DE HUMEDAD = 0.284 %

2.4.2. AGREGADO GRUESO

2.4.2.1. GRANULOMETRIA. (NTP 400.12)

La granulometría del agregado se realizó de acuerdo a la norma mencionada, y se expresa en términos de los porcentajes retenidos en los tamices ASTM ¼”, 3/8”, ½”, ¾”, 1”, 1 ½”; y mayores. Si la granulometría del agregado se modifica disminuyendo la superficie específica, la consistencia de la mezcla tiende a disminuir.

Cuadro 2.4.2.1.1.-Requerimientos de granulometría de los agregados gruesos

N° ASTM	Tamaño nominal	% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS												
		100mm (4")	90mm (3½")	75mm (3")	63mm (2½")	50mm (2")	37.5mm (1½")	25mm (1")	19mm (¾")	12.5mm (½")	9.5mm (3/8")	4.75mm (N°4)	2.36mm (N°8)	1.18mm (N°16)
1	90 a 37.5mm (3 ½" a 1 ½")	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
2	63 a 37.5mm (2 ½" a 1 ½")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
3	50 a 25mm (2" a 1")				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
357	50 a 4.75mm (2" a N°4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
4	37.5 a 19.0mm (1 ½" a 3/4")					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5			
467	37.5 a 4.75mm (1 ½" a N°4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
5	25 a 12.5mm (1" a ½")						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
56	25 a 9.5mm (1" a 3/8")						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5		
57	25 a 4.75mm (1" a N°4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
6	19 a 9.5mm (¾" a 3/8")							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
67	19 a 4.75mm (¾" a N°4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
7	12.5 a 4.75mm (½" a N°4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
8	9.5 a 2.36mm (3/8" a N°8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

ENSAYOS DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO (PIEDRA) NORMA ITINTEC 400.012, ITINTEC 400.037

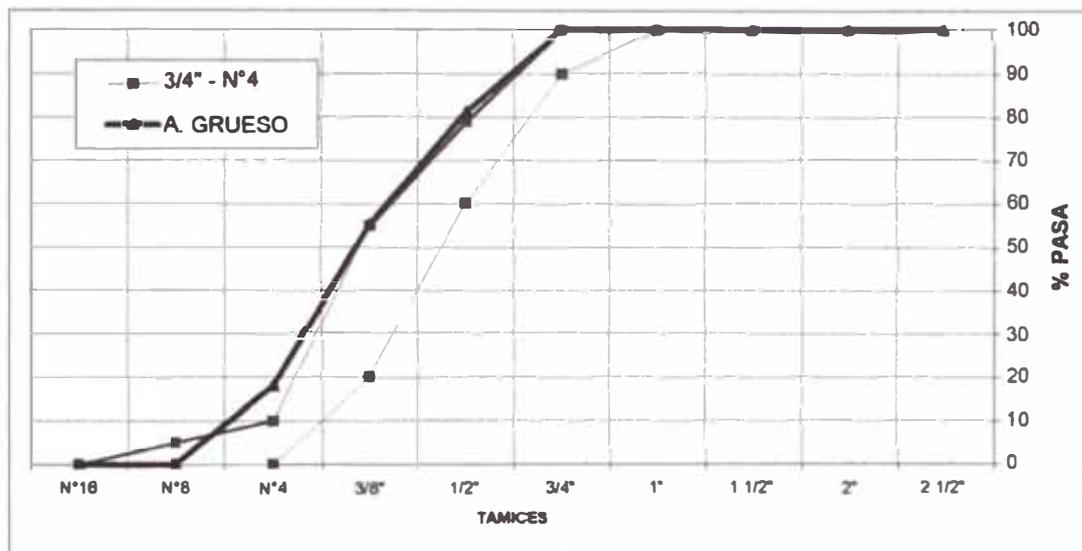
Procedencia: Cantera de Jicamarca

El ensayo se procedió de acuerdo a las normas técnicas vigentes, se hicieron 4 ensayos cada uno de 5000 gr luego se obtuvo una muestra total sumando los cuatro ensayos que nos dio un total de 20000 gr para un mejor análisis.

Cuadro 2.4.2.1.2.- Primer ensayo de granulometría del agregado grueso, cantera Jicamarca

TAMICES ASTM	ENSAYO 1			
	Peso retenido en cada malla	porcentaje retenido en cada malla	Porcentaje acumulado	Porcentaje que pasa
	gr	%	%	%
2"	0	0	0	100.00
1 1/2"	0	0	0	100.00
1"	0	0	0	100.00
3/4"	0	0	0	100.00
1/2"	937.7	18.75	18.75	81.25
3/8"	1291.5	25.83	44.58	55.42
N°4	1875.8	37.52	82.1	17.90
FONDO	895	17.9	100	0.00
TOTAL=	5000	100		

Grafico 2.4.2.1.1.- Primer ensayo de granulometría del agregado grueso



Modulo de finura = 6.27

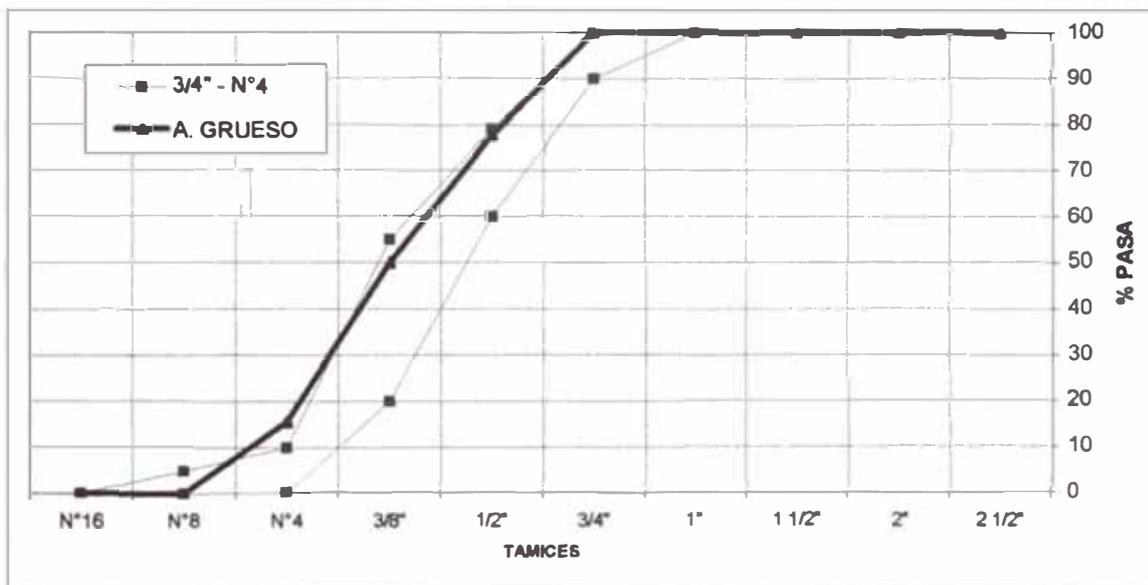
Tamaño máximo = 3/4"

Tamaño nominal máximo = 1/2"

Cuadro 2.4.2.1.3.- Segundo ensayo de granulometría del agregado grueso, cantera Jicamarca

TAMICES ASTM	ENSAYO 2			
	Peso retenido en cada malla	porcentaje retenido en cada malla	Porcentaje acumulado	Porcentaje que pasa
	gr.	%	%	%
2"	0	0	0	100.00
1 1/2"	0	0	0	100.00
1"	0	0	0	100.00
3/4"	0	0	0	100.00
1/2"	1126.1	22.52	22.52	77.48
3/8"	1379.4	27.59	50.11	49.89
Nº4	1718.3	34.37	84.48	15.52
FONDO	776.2	15.52	100	0.00
TOTAL=	5000	100		

Grafico 2.4.2.1.2.- Segundo ensayo de granulometría del agregado grueso



Modulo de finura = 6.35

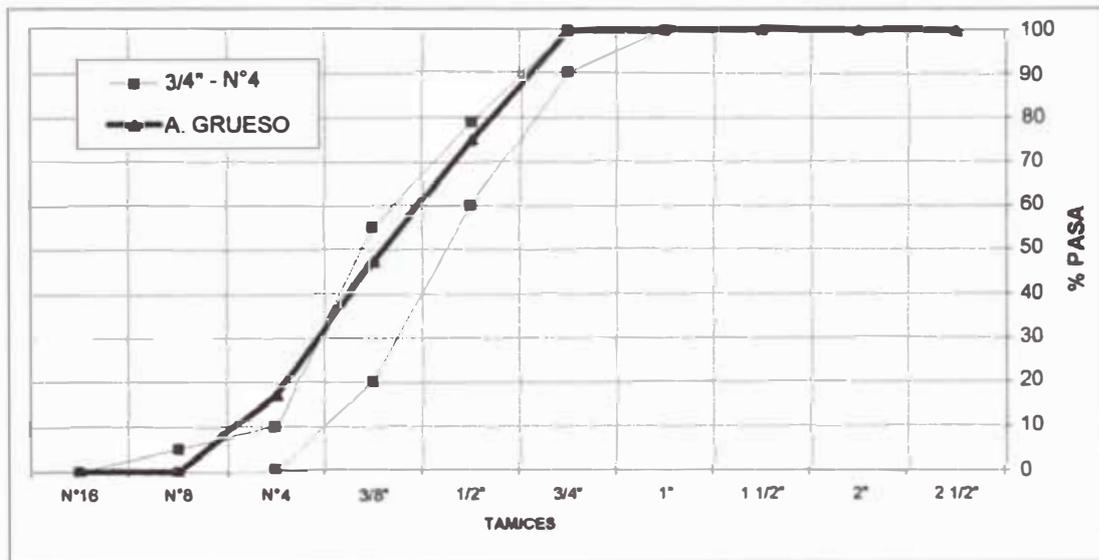
Tamaño máximo = 3/4"

Tamaño nominal máximo = 1/2"

Cuadro 2.4.2.1.4.- Tercer ensayo de granulometría del agregado grueso, cantera Jicamarca

TAMICES ASTM	ENSAYO 3			
	Peso retenido en cada malla	porcentaje retenido en cada malla	Porcentaje acumulado	Porcentaje que pasa
	gr	%	%	%
2"	0	0	0	100.00
1 1/2"	0	0	0	100.00
1"	0	0	0	100.00
3/4"	11.5	0.23	0.23	99.77
1/2"	1244.2	24.88	25.11	74.89
3/8"	1373.6	27.47	52.59	47.41
Nº4	1513.5	30.27	82.86	17.14
FONDO	857.2	17.14	100	0.00
TOTAL=	5000	100		

Grafico 2.4.2.1.3.- Tercer ensayo de granulometría del agregado grueso



Modulo de finura = 6.36

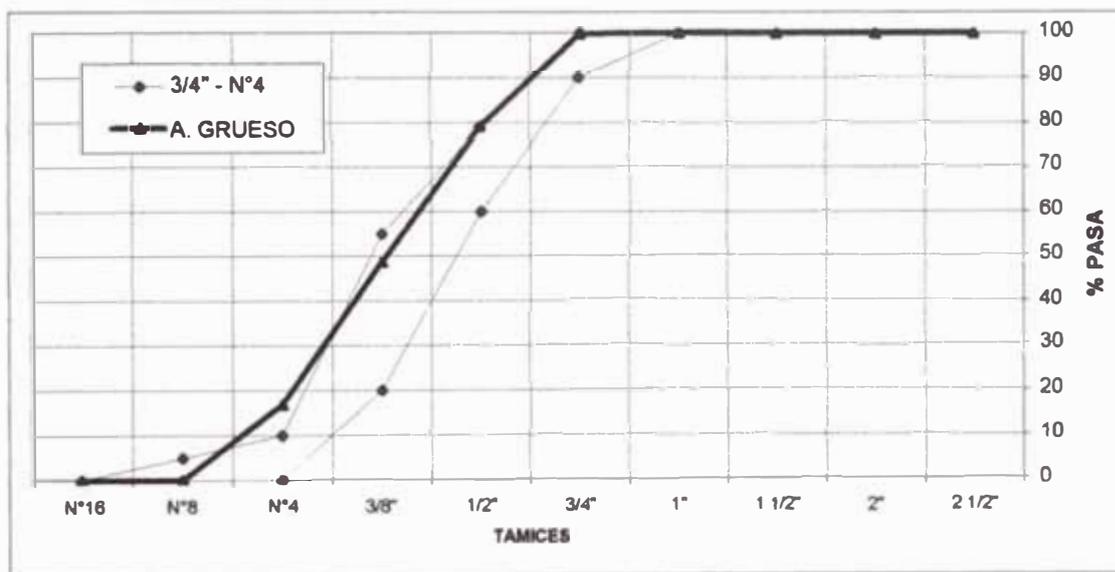
Tamaño máximo = 1"

Tamaño nominal máximo = 3/4"

Cuadro 2.4.2.1.5.-Cuarto ensayo de granulometría del agregado grueso, cantera Jicamarca

TAMICES ASTM	ENSAYO 4			
	Peso retenido en cada malla	porcentaje retenido en cada malla	Porcentaje acumulado	Porcentaje que pasa
	gr	%	%	%
2"	0	0	0	100.00
1 1/2"	0	0	0	100.00
1"	0	0	0	100.00
3/4"	10.1	0.2	0.2	99.80
1/2"	1035.7	20.71	20.92	79.08
3/8"	1521.7	30.43	51.35	48.65
Nº4	1594.6	31.89	83.24	16.76
FONDO	837.9	16.76	100	0.00
TOTAL=	5000	100		

Grafico 2.4.2.1.4.- Cuarto ensayo de granulometría del agregado grueso



Módulo de finura = 6.35

Tamaño máximo = 1"

Tamaño nominal máximo = 3/4"

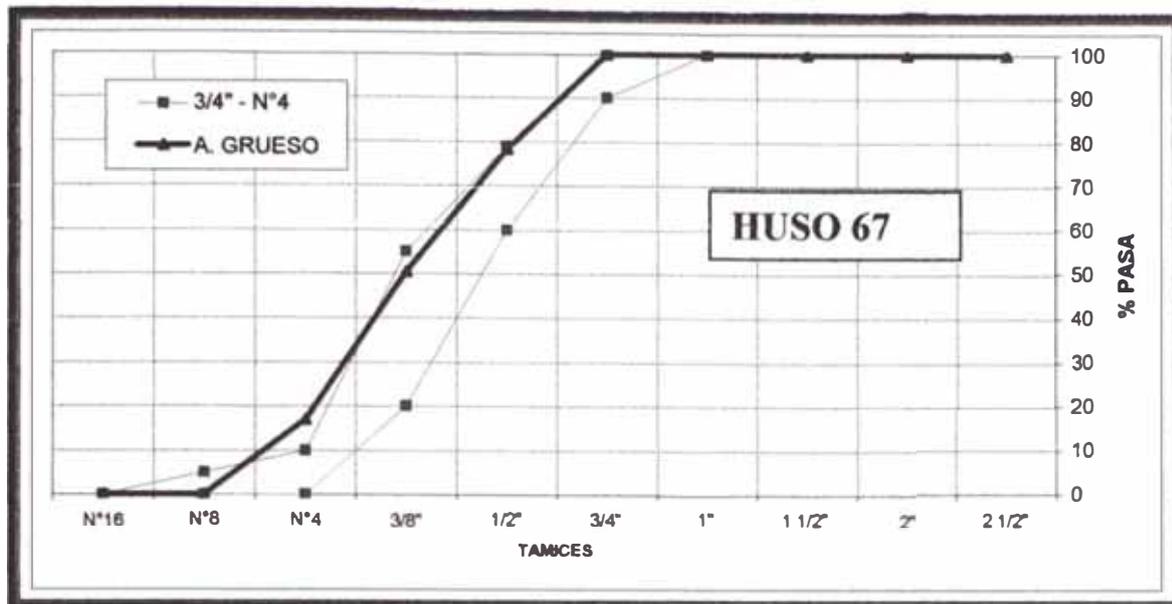
Cuadro 2.4.2.1.6.- Total de pesos retenidos y suma total de los cuatro ensayos

TOTAL DE LOS PESOS RETENIDOS DE LOS CUATRO ENSAYOS					
MALLAS GRANULOMETRICAS NORMALIZADAS	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	MUESTRA TOTAL
	PESO RETENIDO EN CADA MALLA	SUMA DE PESOS RETENIDOS EN LOS ENSAYOS			
TAMIZ ASTM					
	gr	gr	gr	gr	gr
2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	0.0	0.0	11.5	10.1	21.6
1/2"	937.7	1126.1	1244.2	1035.7	4343.7
3/8"	1291.5	1379.4	1373.6	1521.7	5566.2
N°3	1875.8	1718.3	1513.5	1594.6	6702.2
FONDO	895.0	776.2	857.2	837.9	3366.3
TOTAL	5000.0	5000.0	5000.0	5000.0	20000.0

Cuadro 2.4.2.1.7.- Granulometría total del agregado grueso

MALLAS GRANULOMETRICAS NORMALIZADAS	MUESTRA TOTAL	GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO (PIEDRA)		
	PESO RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE RETENIDO EN CADA MALLA	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO EN CADA MALLA	PORCENTAJE QUE PASA CADA MALLA(ACUMULADO)
TAMIZ ASTM				
	gr	%	%	%
2"	0.0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	21.6	0.11	0.11	99.89
1/2"	4343.7	21.72	21.83	78.17
3/8"	5566.2	27.83	49.66	50.34
N°4	6702.2	33.51	83.17	16.83
FONDO	3366.3	16.83	100.00	0.00
TOTAL	20000.0	100.00		

Grafico 2.4.2.1.5.-Granulometría total agregado grueso, Procedencia cantera de Jicamarca



2.4.2.2. MODULO DE FINURA. (NTP 400.012)

La determinación del modulo de finura del agregado grueso es necesaria para la aplicación de algunos métodos de proporcionamiento de mezclas. Asimismo el modulo de finura sirve como una medida del valor lubricante de un agregado, es decir que cuanto mayor es su modulo de finura, menor será el valor lubricante y la demanda de agua por área superficial.

El procedimiento para calcular el modulo de finura es igual para todos los agregados ya sean finos o gruesos.

$$M.F.= \frac{(49.66+83.17+5*100)}{100}$$

M.F.= 6.33.

2.4.2.3. PESO UNITARIO SUELTO. (NTP 400.017)

El procedimiento es el seguido por la NTP mencionada, para la piedra usamos un balde de 1/3 pie³, esto debido a que el tamaño máximo del agregado grueso es de ¾".

Cuadro 2.4.2.3.1.- Peso unitario suelto agregado grueso

DATOS DEL LABORATORIO		ENSAYO 1 (gr)	ENSAYO 2 (gr)	ENSAYO 3 (gr)
PESO DE LA MUESTRA SUELTA + VASIJA	A	20400.00	20400.00	20400.00
PESO DE LA VASIJA	B	6950.00	6950.00	6950.00
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	C=A-B	13450.00	13450.00	13450.00
PESO DE LA VASIJA + AGUA	L	16388.95	16388.95	16388.95
PESO DEL AGUA=VOLUMEN DEL RECIPIENTE	M=L-B	9438.95	9438.95	9438.95
PESO APARENTE SUELTO	C/M	1.42495	1.42495	1.42495
PESO APARENTE SUELTO PROMEDIO		1424.95 kg/m³		

$$\text{PESO APARENTE SUELTO} = 1424.95 \text{ kg/m}^3$$

2.4.2.4. PESO UNITARIO COMPACTADO. (NTP 400.017)

El procedimiento de este ensayo es el mismo seguido para el agregado fino, a diferencia que se uso un balde de 1/3 pie³, debido al tamaño máximo del agregado grueso que es ¾".

Cuadro 2.4.2.4.1.- Peso unitario compactado agregado grueso

DATOS DEL LABORATORIO		ENSAYO 1 (gr)	ENSAYO 2 (gr)	ENSAYO 3 (gr)
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA + VASIJA	A	22100.00	8383.50	8329.00
PESO DE LA VASIJA	B	6950.00	6950.00	6950.00
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	C=A-B	15150.00	15550.00	15150.00
PESO DE LA VASIJA + AGUA	L	16388.95	16388.95	16388.95
PESO DEL AGUA=VOLUMEN DEL RECIPIENTE	M=L-B	9438.95	9438.95	9438.95
PESO APARENTE COMPACTADO	C/M	1.60505	1.64743	1.60505
PESO APARENTE COMPACTADO PROMEDIO		1619.18 kg/m³		

$$\text{PESO APARENTE COMPACTADO} = 1619.18 \text{ kg/m}^3$$

2.4.2.5. PESO ESPECIFICO. (NTP 400.022)

El valor del peso específico puede ser utilizado como una medida indirecta de la solidez o estabilidad de un agregado, es decir estos son directamente proporcionales, del mismo modo el peso específico del agregado influye en el peso unitario del concreto, esto tiene importancia dependiendo del tipo de obra que se puede desarrollar.

Cuadro 2.4.2.5.1.- Peso específico agregado grueso.

DESCRIPCIÓN		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO
DATOS DEL LABORATORIO		gr	gr	gr	
PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO	A	2967.5000	2965.5	2965.5	
PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B	3000.0000	3000	3000	
PESO DE LA MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA + PESO DE LA CANASTILLA	L	3789.9000	3791	3790	
PESO DE LA CANASTILLA	M	1890.0000	1890	1890	
PESO DE LA MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA	C=L-M=	1899.9000	1901	1900	
PESO ESPECIFICO DE MASA (gr/cm³)	A/(B-C)	2.6975	2.6984	2.6959	2.6973
PESO ESPECIFICO DE MASA S.S.S. (gr/cm ³)	B/(B-C)	2.7270	2.7298	2.7273	2.7280
PESO ESPECIFICO APARENTE (gr/cm ³)	A/(A-C)	2.7796	2.7858	2.7832	2.7829
PORCENTAJE DE ABSORCION (%)	(B-A)*100/A	1.0952	1.1634	1.1634	1.1407

PESO ESPECIFICO DE MASA = 2.6973 gr/cm³

PESO ESPECIFICO DE MASA S. S. S. = 2.7280 gr/cm³

PESO ESPECIFICO APARENTE = 2.7829 gr/cm³

2.4.2.6. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN. (NTP 400.022)

Se determina al igual que el agregado fino. La absorción real de agua debe deducirse del requerimiento total de agua de la mezcla, para obtener la relación efectiva de agua/cemento, que controla tanto la trabajabilidad como la resistencia del concreto.

% ABSORCIÓN = 1.14%

2.4.2.7. CONTENIDO DE HUMEDAD. (ASTM C-566)

La exactitud para determinar el contenido de humedad dependerá de contar con una muestra representativa.

Cuadro 2.4.2.7.- Contenido de humedad agregado grueso (Piedra)

CONTENIDO DE HUMEDAD		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO (%)
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	MH	1000.00	1000.00	1000	
PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO	MS	996.00	996.50	996	
CONTENIDO DE AGUA	CA=(MH-MS)	4.00	3.50	4.00	
		%	%		
CONTENIDO DE HUMEDAD	CA/MS*100	0.402	0.351	0.402	0.385

CONTENIDO DE HUMEDAD = 0.385%

2.4.2.8. TAMAÑO MÁXIMO. (NTP 400.037)

Corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra del agregado grueso.

TAMAÑO MÁXIMO = 3/4".

2.4.2.9. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL. (NTP 400.037)

Es diseñado convencionalmente por el tamaño de la criba en la que queda retenido el 15% o más de las partículas. en general, cuanto más grande es el tamaño máximo del agregado, más pequeña será el área de la superficie por unidad de volumen que ha de ser cubierta por la pasta de cemento de una relación dada de agua/cemento.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL = 1/2".

RESUMEN DE PROPIEDADES:**Cuadro 2.4.2.1.- Resumen de propiedades del agregado fino y grueso,**

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Peso Especifico de masa	2.5371 gr/cm ³	2.6973 gr/cm ³
peso especifico de masa s.s.s.	2565.2 kg/m ³	2.7280 gr/cm ³
peso especifico aparente	2610.3 kg/m ³	2.7829 gr/cm ³
Contenido de humedad (%)	0.00284	0.00385
Porcentaje de absorción (%)	0.0111	0.0114
Peso unitario suelto	1664.8 kg/m ³	1424.9 kg/m ³
Peso unitario compactado	1967.1 kg/m ³	1619.2 kg/m ³
Modulo de finura	3.17	6.33
Tamaño nominal máximo	-	½"
Tamaño máximo		¾"
Módulo de finura de la combinación: 4.84.		

CAPITULO III

AGUA

3.1. GENERALIDADES

Cuando tratemos sobre la resistencia del concreto, quedará en claro la influencia vital de la cantidad de agua en la mezcla respecto a la resistencia del concreto resultante. En esta etapa nos limitaremos a los ingredientes de la mezcla de concreto: cemento, agregado y agua.

La calidad del agua es importante, ya que las impurezas que contenga pueden interferir en el endurecimiento del cemento, afectar negativamente la resistencia del concreto u ocasionar el manchado de su superficie, así como iniciar un proceso corrosivo en el refuerzo. Por estas razones debe evaluarse su conveniencia para fines de mezclado y curado. Debe hacerse una distinción clara entre los efectos del agua para mezcla y el ataque de agua agresivas al concreto endurecido, ya que algunas de éstas últimas son inofensivas e incluso benéficas si se usan en el mezclado.

3.2. REQUISITOS.

3.2.1. AGUA PARA MEZCLA.

En muchas especificaciones, la calidad del agua de la mezcla se considera óptima si es que ésta es apta para beber. Esta agua muy rara vez contendrá sólidos disueltos por sobre las 2000 ppm y por lo general menos de 1000 ppm para una relación de agua/cemento de 0.5 por masa, el segundo contenido corresponde a una cantidad de sólidos igual a 0.05% de la masa de cemento así cualquier efecto de los sólidos comunes (considerados como agregado) sería pequeño.

El criterio de potabilidad del agua no es absoluto; el agua para beber puede no ser adecuada para mezcla cuando tenga una 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 suele ser adecuada para elaborar concreto. Como regla, cualquier agua con un PH (grado de acidez) de 6.0 a 8.0 que no sea salada o salubre es útil; el color oscuro o un cierto olor no indican necesariamente la presencia de sustancias deletéreas. Las aguas naturales ligeramente ácidas son inofensivas, pero los que contengan ácido húmico u otros ácidos orgánicos pueden afectar negativamente el endurecimiento del concreto; estas aguas así como las muy alcalinas deberán ser probadas previamente.

3.2.2. 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 agua adecuada para mezcla, incluso de calidad ligeramente menor, es adecuada para el curado; pero, es esencial que esté exenta de sustancias que ataquen al concreto endurecido, por ejemplo el CO₂ libre. El fluir del 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.

La Norma NTP 339.088 establece como requisitos para agua de mezcla y curado los siguientes parámetros:

Cuadro 3.2.1.- Requisitos para agua de mezcla y curado.

DESCRIPCIÓN	LIMITE PERMISIBLE
Sólidos en suspensión	5000 ppm máximo
Materia orgánica	3 ppm máximo
Carbonatos y bicarbonatos alcalinos (alcalinidad total expresada en NaHCO ₃)	1000 ppm máximo
Sulfatos (Ión SO ₄)	600 ppm máximo
Cloruros (Ión Cl)	1000 ppm máximo
PH	Entre 5.5 y 8

3.3. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA A UTILIZAR.

El agua empleada para la fabricación de concreto y para el curado, fue la distribuida por el servicio de agua potable que abastece al Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM – UNI) .

CAPITULO IV

ADITIVOS

4.1. GENERALIDADES.

La norma ASTM C-125 define un aditivo como un material distinto del agua, los agregados los cementos hidráulicos y el refuerzo de fibra, utilizando como un ingrediente del concreto o del mortero y que se agrega a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. El informe del comité ACI 212 da una lista de 20 aplicaciones importantes en las cuales se utiliza los aditivos; por ejemplo, para aumentar la plasticidad del concreto sin aumentar el contenido de agua, para reducir el sangrado y la segregación, para retardar o acelerar el tiempo de fraguado, para acelerar la velocidad del desarrollo de la resistencia a edades tempranas, para reducir la velocidad de la evolución de calor y para incrementar la durabilidad del concreto en condiciones específicas de exposición. La comprobación de que importantes propiedades del concreto, tanto en el estado fresco como en el estado endurecido puedan ser modificadas ventajosamente por la aplicación de aditivos, dio tal impulso a la industria de estos que 20 años después del inicio del desarrollo de la industria en los cuarenta, cerca de 275 productos diferentes fueron comercializados en Inglaterra y 340 en Alemania. En la actualidad, la mayor parte del concreto producido en algunos países contiene uno o mas aditivos, se informa que aditivos químicos se agregan al 88% del concreto vaciado en Canadá, al 85% en Australia y al 71% en los Estados Unidos, por lo tanto, es realmente importante que los ingenieros civiles se familiaricen con los aditivos comúnmente usados así como con sus aplicaciones y limitaciones típicas.

Los aditivos varían en su composición, desde surfactantes, sales solubles y polímeros, hasta minerales insolubles. Los objetivos para los cuales son generalmente usados en el concreto incluyen mejorar la trabajabilidad, la aceleración o el retardo del tiempo de fraguado, el control del desarrollo de la resistencia, el aumento de la resistencia a la acción congelante, al agrietamiento térmico, a la expansión por álcali-agregado y a las soluciones ácidas y sulfatadas.

4.2. RAZONES PARA EL EMPLEO DE ADITIVOS

Los aditivos son utilizados principalmente para mejorar una o varias de las siguientes características del concreto:

- Incrementar la resistencia a compresión.
- Aumentar la trabajabilidad del concreto.
- Retardar o acelerar el tiempo de fraguado.
- Acelerar el desarrollo de la resistencia en la primera edad.
- Modificar la velocidad de producción de calor de hidratación.
- Reducir la exudación y sangrado.
- Reducir la cantidad de agua.
- Incrementar la durabilidad o resistencia en condiciones severas de exposición.
- Reducir la permeabilidad a los líquidos.
- Disminuir la segregación.
- Reducir la contracción.
- Incrementar la adherencia del concreto viejo y nuevo.
- Mejorar la adherencia del concreto con el refuerzo.

4.3. USO DE LOS ADITIVOS.

La mayoría de los aditivos se comercializan en forma de soluciones acuosas a veces se venden en forma de polvos solubles en agua y eventualmente en pasta.

Los aditivos líquidos se prefieren por la ventaja de encontrarse ya diluidos y facilitar la dosificación. Los aditivos en polvo son susceptibles a la humedad y es necesario conservarlos adecuadamente.

Las soluciones con el aditivo no deben entrar en contacto directo con el cemento por lo que se recomienda agregar el aditivo cuando los materiales y gran parte del agua se encuentra en proceso de mezclado, debe de cuidarse que el aditivo se distribuya uniformemente en la mezcla. Para lograrlo debe añadirse un tiempo prudencial antes del término de la operación.

El agua de solución debe considerarse como una parte del contenido total, para no alterar la relación agua/cemento especificada. Los resultados del uso de los

aditivos dependen de los sistemas de preparación y dosificación. Los aditivos en polvo se dosifican por peso y los aditivos líquidos por peso o volumen.

En los años cuarenta y cincuenta, se hicieron esfuerzos para promover la introducción de aditivos en el concreto a gran escala, actualmente la situación es diferente: los aditivos se han vuelto una parte integral importante en el concreto, de tal manera que en el futuro inmediato la definición de concreto ha de revisarse para incluir al aditivo como uno de sus componentes básicos.

Sin embargo, los problemas asociados con el mal uso de aditivos continúan apareciendo. El origen de la mayoría de los problemas parece estar en la incompatibilidad entre un aditivo en particular y una composición de cemento, o entre dos o más aditivos que pueden estar presentes en el sistema. Los surfactantes tales como los químicos inclusores de aire, los lignosulfonatos y los superfluidificantes son especialmente sensibles a los efectos de la interacción entre iones de aluminatos, sulfatos y álcalis presentes en la solución al principio de la hidratación del cemento. La pérdida de aire o del adecuado espaciamiento de huecos en el concreto que contiene un superfluidificante o un aditivo mineral excesivamente fino, es un aspecto de gran preocupación en la industria del concreto, por lo tanto, se recomienda firmemente llevar a cabo pruebas de laboratorio que incluyan materiales y condiciones de campo, antes del uso definitivo de aditivos en la construcción del concreto, especialmente cuando se emprenden grandes proyectos, o cuando los materiales para elaborar el concreto estén sujetos a variaciones significativas en calidad.

Finalmente, los aditivos pueden mejorar las propiedades de un concreto, pero no deberá esperarse compensar con ellos la pobre calidad de sus ingredientes o un proporcionamiento pobre de la mezcla.

4.4. PRECAUCIONES EN EL EMPLEO DE ADITIVOS.

Es conveniente evaluar previamente el empleo de aditivos, la posibilidad de obtener el comportamiento requerido del concreto por modificaciones en el proporcionamiento de la mezcla o la selección de los materiales más apropiados. En todo caso debe realizarse un estudio cuidadoso del costo, para determinar la alternativa más ventajosa.

Los aditivos por lo general afectan varias propiedades del concreto, tanto en estado fresco como endurecido. Puede ocurrir que mientras una mejora favorablemente, otras cambien en forma adversa. Por ejemplo, la durabilidad del concreto se incrementa con la incorporación del aire, pero su resistencia disminuye.

Los efectos de los aditivos sobre el concreto varían por las condiciones atmosféricas y factores intrínsecos del concreto como son: el contenido de agua, el tipo de cemento, la duración del mezclado, etc. De esta manera, las recomendaciones del fabricante sobre la dosificación del aditivo, deben ser comprobadas en las condiciones propias de la obra .

Para establecer si el empleo de un aditivo significa una ventaja económica en el concreto es necesario: comparar el costo de los ingredientes de la mezcla del concreto con o sin aditivos, establecer la diferencia de costo en el manejo de los materiales, definir los costos de control de concreto, generalmente mayores en el caso de uso de aditivos y el costo de la colocación, terminado y curado del concreto, en muchos casos favorecidos por los mismos aditivos.

Finalmente debemos tener en cuenta que ningún aditivo puede subsanar las deficiencias de una mezcla de concreto mal dosificado.

4.5. CLASIFICACION DE LOS ADITIVOS.

Los aditivos se clasifican por su naturaleza en:

- **Aditivos químicos.-** Norma ASTM C-260-86 y C-1017-85

Principalmente plastificantes, superplastificantes, los incorporadores de aire y los controladores de fragua (aceleradores o retardadores) .

-Aditivos plastificantes: Sirven para lograr concretos mas trabajables y plásticos, para un asentamiento constante, permiten reducir la cantidad de agua de la mezcla y si se mantiene constante la cantidad de cemento, la resistencia aumenta. Si la relación entre la cantidad de agua y el cemento no varía, al reducir la cantidad de agua se disminuirá la cantidad de cemento y se obtendrá un concreto con igual resistencia pero con menos cemento en la mezcla.

-Aditivos superplastificantes: Permite reducir hasta tres o cuatro veces la cantidad del agua de diseño, estos aditivos se usan en concretos de alta resistencia y en concretos muy fluidos.

-Aditivos incorporadores de aire: Se usan para añadir al concreto burbujas de aire uniforme, favorece la resistencia del concreto al deterioro producido por el calor y las heladas alternas, también son usados para mejorar la trabajabilidad de las mezclas.

-Aditivos controladores de fragua: Estos aditivos pueden ser aceleradores o retardadores; los aceleradores incrementan la velocidad de fraguado y los retardadores, por el contrario incrementan el tiempo de reacción del cemento, son usados en obras donde se requiera mantener el concreto trabajable por mayor tiempo.

- **Aditivos minerales.**- Normas ASTM C-618-94 a y ASTM C-989-93, los cuales son principalmente: aditivos naturales, cenizas volantes o fly ash, microsílíce o sílica fume y la escoria de la producción del acero.

Los aditivos químicos a ser utilizados en concretos fluidos están clasificados según norma ASTM 1017-92, como:

Tipo I: Plastificante

Tipo II: Plastificante y retardante.

Existen otros tipos de clasificaciones que van de acuerdo a los tipos de materiales constituyentes ó a los efectos característicos en su uso como la clasificación elaborada por el comité 212 del ACI:

Aditivos acelerantes.

Aditivos reductores de agua y controlan el fraguado.

Aditivos para inyecciones.

Aditivos para incorporadores de aire.

Aditivos extractores de aire.

Aditivos formadores de gas.

Aditivos productores de expansión o expansivos.

Aditivos minerales finamente molidos.

Aditivos impermeables y reductores de permeabilidad.

Aditivos pegantes.

Aditivos químicos para reducir la expansión debida a la reacción.

Aditivos entre los agregados y los álcalis del cemento.

Aditivos inhibidores de corrosión.

Aditivos fungicidas, germicidas e insecticidas.

Aditivos flucofloculantes.

Aditivos colorantes.

CAPITULO V

ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES.

5.1. GENERALIDADES.

Los superplastificantes pueden ser empleados en el concreto por una o algunas de las siguientes razones: incrementar el asentamiento; incrementar sus resistencias mecánicas por disminución del contenido de agua y de la relación agua-material cementante, o para disminución del agua de diseño y del contenido de cemento, así como la temperatura y los cambios de volumen.

Ciertos compuestos orgánicos o mezclas de éstos con inorgánicos, se utilizan como aditivos para reducir los requisitos de agua de diseño o para modificar las propiedades del fraguado o para ambos fines. La disminución del agua de diseño da como resultado una adecuada reducción en la relación agua/cemento para una consistencia (revenimiento) y un contenido de cemento dados, o un incremento en la consistencia con la misma relación agua/cemento y el mismo contenido de cemento. Generalmente el efecto del empleo de estos materiales en el concreto endurecido es un incremento en la resistencia a la compresión y alguna reducción en la impermeabilidad, así como, en combinación con una adecuada inclusión de aire, una mejor resistencia a la congelación y al deshielo. Una reducción en la relación agua/cemento también incrementa las resistencias mecánicas del concreto. Las combinaciones de materiales reductores de agua y retardantes con acelerantes pueden producir aditivos que retengan las propiedades reductoras de agua, pero son menos retardantes, no retardantes o acelerantes; el grado de estas condiciones depende de su fórmula, es decir, de las cantidades relativas de cada componente utilizadas en su fabricación. Estas fórmulas pueden contener otros materiales para producir o generar otros efectos.

Los aditivos superplastificantes deben cumplir con los requisitos aplicables de "Specifications for Chemical Admixtures for Concrete", ASTM C-494, TIPO "F". Esta especificación de la ASTM proporciona requisitos detallados para estos tipos de aditivos respecto a requisitos de agua, tiempo de fraguado, resistencia (a la compresión y a la flexión), contracción y durabilidad.

5.2. DEFINICIÓN.

Los superfluidificantes, también llamados aditivos reductores de agua de alto rango, debido a que son capaces de reducir de tres a cuatro veces el agua de diseño en una mezcla dada de concreto en comparación con los aditivos reductores de agua normales, fueron desarrollados en la década de los setenta y ya han encontrado una amplia aceptación en la industria de la construcción con concreto.

Son conocidos en los Estados Unidos como reductores de agua de alto rango y llamados tipo F por la ASTM. También existe un ingrediente retardador de fraguado y reductor de agua de alto alcance clasificado como tipo G. Sus requisitos están ventilados por la norma ASTM C 494-82 y su equivalente para el Reino Unido según la especificación BS 5075: parte 3: 1985.

5.3. CARACTERÍSTICAS.

Los niveles de la dosis son por lo general mas altos que con los reductores de agua convencionales, por lo que los posibles efectos colaterales indeseables se reducen considerablemente. Por ejemplo, debido a que no reducen marcadamente la tensión de la superficie del agua, los superplastificantes no arrastran una cantidad considerable de aire.

Los superplastificantes se usan para producir concreto fluido en situaciones donde se tiene que colocar concreto en lugares inaccesibles: pisos, pavimentos, o donde se requiera un vaciado muy rápido. Un segundo uso de los superplastificantes es en la producción de concreto de alta resistencia, empleando una viabilidad normal, pero una relación muy baja de agua/cemento.

Los superplastificantes son condensados de sulfonato de melamina formaldehído, o condensados de sulfonato de naftalina formaldehído; este ultimo probablemente sea el mas efectivo en dispersar el cemento, ya que también posee algunas propiedades retardadoras. La acción de dispersión se promueve principalmente por el ácido sulfónico, que es absorbido en la superficie de las partículas de cemento dándoles una carga negativa que provoca una repulsión mutua. Esto aumenta la viabilidad en una relación agua/cemento dada, comúnmente elevando el revenimiento de 75 mm a 200 mm.

Cuando el propósito es lograr una resistencia mayor en una viabilidad dada, el uso de un superplastificante puede dar como resultado una reducción de agua de 25 a 35%. En consecuencia, pueden usar relaciones bajas de agua/cemento, con lo que se obtienen concretos muy resistentes. Con curado en autoclave o cura de vapor se obtienen resistencias aún más altas. Para un mejoramiento en la resistencia en las últimas etapas, se pueden usar superplastificantes con sustitución parcial de cemento con ceniza de combustible pulverizada.

La viabilidad mejorada producida por los superplastificantes es de corta duración y, por tanto, hay un alto nivel de pérdida de revenimiento; después de 30 a 90min, la viabilidad vuelve a la normalidad.

Los superplastificantes no afectan significativamente el fraguado del concreto, excepto en caso de cementos con un contenido muy bajo de C3A cuando puede haber retardo excesivo. Otras propiedades de largo plazo inherentes al concreto no son afectadas significativamente. Sin embargo, el uso de plastificantes con un ingrediente de arrastre de aire, algunas veces puede reducir la cantidad de aire arrastrado y modificar el sistema de vacíos, pero existen plastificantes especialmente modificados que parecen ser compatibles con agentes de arrastre de aire convencionales. La única desventaja real de los superplastificantes es su precio relativamente alto, debido al costo de fabricación de dichos productos con enormes masas moleculares en su formulación.

5.4. CLASIFICACION DE LOS ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES.

Los aditivos superplastificante constituyen una categoría relativamente nueva de aditivos químicos. Los primeros pasos en el descubrimiento de los superplastificantes o también llamados “reductores de agua de alto rango” comenzaron a principios de la década de los 60, primero en Alemania y Japón, mas tarde en Francia a comienzos de los 70; en cada uno de estos países se ensayaron con distintos elementos, lo que ha dado lugar a varias generaciones de los superplastificantes veamos una pequeña sinopsis acerca del desarrollo de estos aditivos:

A.- A comienzos de la década de los 60 comienza el desarrollo en Alemania de la PRIMERA GENERACIÓN de los superplastificante (tipo A) ensayando

reacciones de melamina con formaldehído, seguida de una sulfanatación con sales de sulfato de sodio de alto poder molecular. Estos superplastificantes actúan por su naturaleza aniónica, por lo cual las partículas de cemento se cargan negativamente, repeliéndose mutuamente y reduciendo la fricción.

Este tipo de aditivo casi no influiría en el proceso de hidratación del cemento, y el tiempo de trabajabilidad que permitía era corto por lo que normalmente se incorporaba directo en obra, y no en concreto premezclado. El primer objetivo que se buscó con estos aditivos era elevar la fluidez del concreto sin causar problemas de segregación, un segundo propósito era elevar las resistencias mediante una reducción considerable del requerimiento de agua de mezcla, en especial para elementos estructurales prefabricados.

Los resultados obtenidos en Alemania fueron buenos y desde entonces su empleo se incrementó rápidamente, comercializándose primero en la misma Alemania, más tarde en toda Europa, EE.UU. y Canadá principalmente en la década de los 70 estos productos fueron usados aproximadamente en 2 millones de metros cúbicos de concreto al año.

B.- En la misma época a comienzos de los 60, en Japón, se descubre la SEGUNDA GENERACIÓN de superplastificante (tipo B) basado en sulfonatación de naftalina con aceite o trióxido sulfúrico, seguido de una reacción con formaldehídos y finalmente neutralizado con hidróxido de sodio. El llamado condensado B-naftalina con Formaldehído fue descubierto por una mezcla de componentes de distintos peso molecular y grado de polimerización, e incluida una parte de la composición descubierta originalmente por Tucker en 1938.

Este segundo tipo de superplastificantes, además de actuar por su naturaleza aniónica, repeliendo las partículas del cemento, cubrían también la superficie de los mismos, produciendo mayor plasticidad sobre las pastas del cemento y permitiendo reducciones de hasta 30% del agua de diseño de la mezcla. Asimismo, incidiría sobre los procesos de hidratación, permitiendo su empleo en temperaturas extremas del concreto.

En 1962, algunas pruebas demostraron la capacidad de estos condensados para reducir el requerimiento de agua para las mezclas hechas a base de cementos Portland sin producir un retardo de fragua. Por esto los superplastificantes del tipo B permitan una mayor reducción de agua de mezcla que los tipo A, así como un mayor periodo de plasticidad del concreto fresco. Esto hizo que los superplastificantes tipo B pudieran ser incorporados en concreto premezclados.

Los superplastificante del tipo B fueron lanzados al mercado japonés en 1964, siendo utilizados en la industria del concreto prefabricado de alta resistencia. Es así como en los primeros 14 años fueron usados en aproximadamente 25 millones de metros cúbicos de concreto. A comienzos de los 80 cerca del 2% del concreto premezclado producido en Japón incluía un superplastificante del tipo B, su difusión por otros países fue muy rápido, teniendo incluso mayor aceptación que el superplastificante tipo A.

Ambos superplastificante experimentaron un rápido crecimiento no solo en Alemania y Japón respectivamente, sino a nivel mundial. A comienzos de los 70 estos productos ya se habían patentado en el Reino Unido, EE.UU., Canadá y otros países de Europa. Sin embargo por falta de investigación y seguridad en su empleo, su comercialización no fue permitida hasta mediados de esa época.

C.-Posteriormente a comienzos de la década del 70 aparece en Francia la TERCERA GENERACIÓN, de superplastificante (tipo C) para los cuales se hicieron experimentos empleando una modificación de los lignosulfonatos; en la fórmula empleada se incluían sodio, calcio, uranio, amonio, y sales de ácido lignosulfonato.

Las experiencias demostraron que estos lignosulfonatos modificados debían seleccionarse cuidadosamente minimizando la proporción de los constituyentes del retardo de fragua, ya que un exceso de esta podría restringir el uso de estos aditivos por debajo de los niveles requeridos de una reducción de agua.

Así mismo, se comprobó que la eficacia de los lignosulfonatados y modificados estaba relacionada con su contenido y peso molecular y con su

grado de sulfonación, lo cual permitía incrementar la trabajabilidad de las mezclas.

Este tipo de superplastificante, a diferencia de los dos anteriores permitían aumentar el rango de plasticidad de la pasta, manteniendo similares las características de fraguado que los concretos normales a diferentes temperaturas.

D.- Últimamente en 1985, una CUARTA GENERACIÓN de los aditivos ha sido investigada nuevamente en el Japón, este reciente tipo de superplastificante ha sido elaborado y comercializado para la corporación KAU.

Experimentos realizados han demostrado que para las mismas dosis en comparación a los superplastificantes tipo B, estos nuevos superplastificantes producen una mayor exudación, retención en incremento del asentamiento, pero a la vez ocasiona una disminución en el retardo de fragua y retención de aire.

Experimentos realizados con una mezcla proporcional de un superplastificante elaborado a base de condensados de formaldehído naftalino sulfonados, han dado excelentes resultados en el concreto, logrando un equilibrio con respecto al control de exudación, retención e incremento del asentamiento, el retardo de fragua y la retención de aire, lamentablemente dicho producto aún esta en proceso de experimentación y evaluación, esperando su pronta posibilidad de salida al mercado.

5.5. MECANISMO DE ACCION.

Antes de mencionar el mecanismo de acción de los aditivos superplastificantes estudiaremos el mecanismo de acción de los aditivos plastificantes o reductores de agua convencionales.

Las sustancias químicas tensioactivas también conocidas como **surfactantes**, comprenden los aditivos que generalmente son usados para inclusión de aire o para reducción de agua en las mezclas de concreto.

Los aditivos tensioactivos consisten esencialmente en moléculas orgánicas de cadena larga, un extremo de la cual es hidrofílico (atractivo de agua) y el otro es hidrofóbico (repelente del agua). El extremo hidrofílico contiene uno o mas grupos polares tales como COO^- , SO_3^- , o NH_3^+ . En la tecnología del concreto,

la mayoría de los aditivos aniónicos se utiliza ya sea con una cadena no polar o con una cadena que contiene varios grupos polares. El primero sirve como aditivo inclusor de aire y el segundo como aditivo reductor de agua. Los aditivos tensioactivos son absorbidos en las entrecaras aire-agua y cemento-agua, con una orientación de la molécula que determina si el efecto predominante es el de la inclusión de aire o de plastificante del cemento-agua. Los surfactantes utilizados como aditivos plastificantes son generalmente sales y derivados de ácidos lignosulfónicos, ácidos carboxílicos hidroxilitados y polisacáridos, o cualquier combinación de los tres anteriores, con o sin otros constituyentes subsidiarios. Los superplastificantes o aditivos reductores de agua de alto rango, que se analizan más adelante, consisten en sales sulfonatadas de formaldehídos condensados de melamina o de naftalina.

Mecanismo de acción de un plastificante.-

En los plastificantes el grupo polar aniónico está unido a una cadena de hidrocarburo que en sí es polar o hidrofílica (es decir, varios grupos OH están presentes en la cadena). Cuando una pequeña cantidad se agrega al cemento, sin la presencia del surfactante no se logra un sistema bien disperso porque, en primer lugar, el agua posee una alta tensión superficial (estructura molecular unida por hidrógeno) y en segundo, las partículas de cemento tienden a congregarse y formar grumos (la fuerza de atracción existe entre las aristas cargadas positiva y negativamente en las esquinas y en las superficies, cuando los minerales cristalinos o los compuestos están molidos finamente).

Como resultado de las capas de agua dipolar que rodean a las partículas de cemento hidrofílico su floculación es evitada y se obtiene un sistema bien dispersado.

Mecanismo de acción de los superplastificantes

Los superplastificantes consisten en surfactantes aniónicos de cadena larga y alto peso molecular (20000 a 30000), con un gran número de grupos polares en la cadena de hidrocarburos. Cuando es absorbido en las partículas de cemento, el surfactante imparte una fuerte carga negativa, que ayuda a disminuir considerablemente la tensión superficial del agua circundante e incrementa grandemente la fluidez del sistema. Comparando con los aditivos

normales reductores de agua, relativamente grandes cantidades de superplastificantes, hasta de 1% por peso de cemento, pueden incorporarse en las mezclas del concreto sin causar un sangrado excesivo ni retardar el fraguado, a pesar de tener una consistencia del orden de 200 a 250 mm de revenimiento. Es probable que el tamaño coloidal de las partículas de cadena larga del aditivo obstruyan el sangrado del agua, que fluye en los canales del concreto de manera que generalmente no se encuentre segregación en los concretos superfluidificados. La excelente dispersión de las partículas del cemento en el agua parece acelerar la velocidad de hidratación; por lo tanto, raramente se observa el retardo; en su lugar, la aceleración del fraguado y del endurecimiento es un hecho común. De hecho, la primera generación de superfluidificantes adquirió una mala reputación por la rápida pérdida de consistencia o revenimiento. Los productos disponibles actualmente, contienen a menudo lignosulfonato y otros materiales retardantes, con el fin de compensar la rápida pérdida de la alta consistencia lograda inmediatamente después de agregar el aditivo.

En comparación con el 5 a 10% de reducción de agua que se logra por la aplicación de aditivos ordinarios plastificantes, se pueden lograr reducciones de agua en el rango del 20 al 25% en concreto de referencia sin reducir la consistencia.

El incremento de las propiedades mecánicas (como las resistencias a la compresión y a la tensión) es en general atribuido a la reducción de la relación agua/cemento. Frecuentemente, debido a una velocidad mayor de hidratación del cemento en el sistema bien disperso, los concretos que contienen superfluidificantes muestran resistencias a la compresión aún más altas a 1, 3, y 7 días, que los concretos de referencia que tienen la misma relación agua/cemento, esto es de especial importancia en la industria del concreto prefabricado, en donde se requieren altas resistencias tempranas para un retiro mas rápido del encofrado. Al utilizar contenidos de cemento mas altos y relaciones de agua/cemento mucho menores de 0.45, es posible lograr velocidades de desarrollo de resistencia aún más rápidas.

5.6. ESPECIFICACIONES.

Dos son las especificaciones ASTM que cubren los diversos aspectos de los superplastificantes. La primera es la ASTM C-494 "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete" describe dos tipos: el tipo F, el cual se emplea cuando se desean reducciones importantes en el contenido de agua sin modificaciones en el tiempo normal de fraguado; y el tipo G, empleado cuando se requieren reducciones importantes en el contenido de agua conjuntamente con retardos en el tiempo de fraguado. Cuando el aditivo es empleado para producir concretos con asentamiento convencional y reducción en el contenido de agua se hace referencia únicamente a la Norma ASTM C-494.

Cuando se desean concretos de alto asentamiento y gran capacidad de flujo, el superplastificante se especifica para que cumpla con las recomendaciones de la norma ASTM C-1017 "Standard Specification for Chemical Admixtures for use in producing Flowing Concrete". El concreto que fluye es definido por el ASTM como "concreto que se caracteriza por un asentamiento mayor de 7.5" (190 mm) aunque mantiene una naturaleza cohesiva.

Dos tipos de aditivos están incluidos en la norma ASTM C-1017. El tipo I es adecuado para producir concretos fluidos que tienen un tiempo de fraguado normal. El tipo II es apropiado para producir concretos fluidos que tienen un retardo en el tiempo de fraguado. Dada la posibilidad de emplear cualquiera de los cuatro tipos de superplastificantes mencionados, el comité 212 del American Concrete Institute recomienda que la información proporcionada por el fabricante sea revisada por contratista antes de emplear el aditivo. Igualmente, se recomienda solicitar al vendedor del producto toda la información que permita al proyectista definir claramente a cual de los cuatro tipos pertenece el aditivo que esta ofertando.

El Comité 212 del American Concrete Institute ha publicado "Guide for the use of High-Range Water-Reducing Admixtures (superplasticizers) in Concrete", la cual está vigente desde 1993. Esta guía contiene información sobre aplicaciones, usos y efectos sobre el concreto fresco y endurecido, así como procedimientos de control de calidad de aquellos concretos que contienen superplastificantes.

5.7. USO DE LOS SUPERPLASTIFICANTES.

Se enumera a continuación el uso de Superplastificantes

5.7.1. Incremento en el asentamiento:

El asentamiento del concreto se incrementa cuando se adiciona un superplastificante a la mezcla y no se introducen modificaciones en las proporciones de esta. El asentamiento puede incrementarse, moderada o fuertemente, dependiendo del comportamiento que se desee para el concreto.

Por ejemplo, se pueden obtener concretos fluidos con un alto asentamiento que permitan un autoacomodo, esto es concretos que requieran muy poco esfuerzo para su colocación. Sin embargo, se considera que para que un concreto sea adecuadamente colocado deberá proporcionarse siempre algún tipo de compactación o de vibración.

Cuando el asentamiento es muy alto, como en el caso de los concretos fluidos, la mezcla puede tender a segregar o exudar aunque la presencia de los superplastificantes contribuirá a disminuir esta tendencia. En tales casos es muy importante que los finos sean cuidadosamente proporcionados, debiendo asegurarse que ellos son añadidos en la cantidad seleccionada con la granulometría adecuada para el agregado grueso disponible que son añadidos en la cantidad seleccionada y con la granulometría adecuada.

Los concretos fluidos de alto asentamiento, pueden ser ventajosamente empleados en las industrias de premezclado, prefabricado y pretensado. La propiedad del concreto para fluir fácilmente lo hace especialmente conveniente en aquellas aplicaciones que involucran áreas de gran congestión de acero o encofrados de formas especiales en que los elementos embebidos dificulten la colocación del concreto.

Las características de fluidez son también ventajosas para el llenado de encofrados profundos, en los que el concreto fluido logra un contacto íntimo con el acero de refuerzo o el pretensado. Los concretos premezclados fluidos son empleados en cimentaciones y elementos planos, en los que pueden mejorar la velocidad y rendimiento de colocación.

En general, los concretos fluidos pueden elevar significativamente la trabajabilidad de la mezcla, si no se introducen modificaciones en las proporciones de ésta. El asentamiento puede incrementarse, ya sea moderada

o fuertemente, dependiendo del comportamiento que se desee para el concreto.

Cuando el asentamiento es muy alto, como en el caso de los concretos fluidos, la mezcla puede tender a segregar o exudar, aunque la presencia de los superplastificantes contribuiría a disminuir dicha tendencia. En tales casos es muy importante que los finos sean cuidadosamente proporcionados, debiendo asegurarse que ellos son añadidos en la cantidad seleccionada y con la granulometría adecuada para el agregado grueso disponible.

Además de alcanzar altas resistencias finales, los concretos con superplastificantes y reducida relación agua-cemento presentan incrementos en la resistencia, en relación con los concretos normales, en todas las edades. Esta característica es muy deseable en operaciones de prefabricación en las que un rápido desencofrado puede permitir un incremento en el rendimiento de la planta.

5.7.2. Disminución del cemento y del agua de diseño:

Los superplastificantes, aditivos reductores de agua de alto rango, pueden ser empleados para reducir, tanto el contenido de agua como el de cemento de la mezcla, permitiendo el empleo de menor cantidad de cemento sin reducción de la resistencia. La disminución en el costo de la unidad cúbica de concreto resultante de la reducción en el contenido de cemento depende de los precios relativos de este y el superplastificante. En la mayoría de los casos, los beneficios económicos directos son menores, aunque en los beneficios indirectos pueden ser significativos. Por ejemplo en un caso dado puede ser necesario concretos con menor calor de hidratación, o mas baja contracción por secado, es decir sin modificaciones en la resistencia. Tales concretos son deseables para construcciones masivas debido a su reducida tendencia al agrietamiento cuando enfrían y secan.

5.8. ADITIVO SIKA VISCOCRETE – 3

Sika Viscocrete 3 es un superplastificante de tercera generación para concretos y morteros. Su presentación es líquida, de color marrón y con una densidad de 1.11 ± 0.05 kg/l.

Es adecuado para la producción de concreto en obra y concreto pre-mezclado.

Se usa para los siguientes tipos de concreto:

- Concreto pre-fabricado.
- Concreto para climas fríos.
- Concreto con alta reducción de agua (hasta un 30%).
- Concreto de alta resistencia.
- Concreto autocompactante.

El alto poder reductor de agua, la excelente fluidez y el corto tiempo de fraguado con altas resistencias tempranas tienen una influencia positiva en las aplicaciones antes mencionadas.

El Sika Viscocrete 3 actúa por diferentes mecanismos. Gracias a la absorción superficial y el efecto de separación espacial sobre las partículas de cemento (paralelos al proceso de hidratación) se obtienen las siguientes propiedades:

- Extrema reducción de agua (que trae consigo una alta densidad y resistencia).
- Excelente fluidez (reduce en gran medida el esfuerzo de colocación y vibración).
- Adecuado para la producción de concreto autocompactante.
- Incrementa las altas resistencias iniciales (producción de prefabricados).
- Alta impermeabilidad.
- Comportamiento mejorado de contracción y deslizamiento.
- Reduce la carbonatación del concreto.

Además este aditivo no contiene cloruros ni otros ingredientes que promuevan la corrosión del acero. Por lo tanto, puede usarse sin restricciones en construcciones de concreto reforzado y pre-tensado.

En su composición puede observarse una base de solución acuosa de policarboxilato modificado; posee además un pH de 7.5 ± 0.5 .

En lo que respecta a su modo de empleo, el Sika Viscocrete 3 se agrega al agua de amasado o se echa junto con el agua a la mezcladora de concreto. Para un aprovechamiento óptimo de la alta capacidad de reducción de agua, se recomienda un mezclado cuidadoso durante 60 segundos como mínimo.

Para evitar la exudación en el concreto y lograr la consistencia deseada, el agua restante de la mezcla recién se añadirá cuando hayan transcurrido 40 segundos del tiempo de mezclado.

El uso de Sika Viscocrete 3 garantiza un concreto de la más alta calidad; sin embargo, ha de cumplirse con las normas estándar para la buena producción y colocación de concretos.

El fabricante recomienda las siguientes dosificaciones:

- Para concretos plásticos suaves: 0.4 – 1.2 % del peso del cemento.
- Para concretos fluidos y autocompactantes: 1.0 – 3.0 % del peso del cemento.

Para su almacenamiento puede adoptarse el tiempo de 12 meses a partir de la fecha de producción en su envase original y sin abrir, protegido de la luz directa del sol y de las heladas, a una temperatura ambiental que oscile entre los 5 y 35°C. Durante la manipulación de cualquier elemento químico ha de evitarse el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Para su manipulación es preciso protegerse con guantes de goma natural y anteojos de seguridad.

CAPITULO VI

CONCRETO

6.1. GENERALIDADES

El concreto de cemento portland es actualmente el material manufacturado más extensamente utilizado. A juzgar por las tendencias mundiales el futuro del concreto parece aun más brillante porque para mayoría de las aplicaciones ofrece propiedades de ingeniería adecuadas a bajo costo, combinadas con el ahorro de energía y beneficios ecológicos, por lo tanto, es conveniente que los ingenieros conozcan más sobre el concreto que otros materiales de construcción.

Hay varias dificultades en la preparación de un tratado científico sobre el concreto como material. Primero a pesar de la aparente simplicidad del concreto, tiene una estructura altamente compleja ;por lo tanto las relaciones estructura-propiedades, que son generalmente tan útiles para entender y controlar las propiedades del material, no pueden ser aplicadas fácilmente.

El concreto contiene una distribución heterogénea de muchos componentes sólidos así como poros de variadas formas y tamaños, que pueden ser completa o parcialmente llenadas con soluciones alcalinas. Los métodos analíticos de la ciencias de materiales y de la mecánica de sólidos, que funcionan bien con materiales manufacturados que son relativamente homogéneos y mucho menos complejos, tales como el acero, los plásticos y la cerámica , no parecen ser muy efectivos con el concreto.

Segundo, en comparación con otros materiales, la estructura del concreto no es una propiedad estática del material. Esto es debido a dos de los tres diferentes componentes de la estructura : la pasta de cemento y la zona de transición entre el agregado y dicha pasta , continúan cambiando con el tiempo. A este respecto el concreto se asemeja a la madera y a otros sistemas vivientes; de hecho, la palabra concreto viene del termino latino concretus que significa crecer. La resistencia y otras propiedades del concreto dependen de los productos de hidratación del cemento, que continúen formándose durante varios años. Aunque los productos son relativamente insolubles pueden disolverse lentamente y cristalizarse en ambientes húmedos, dando así al concreto la capacidad de curar las microgrietas.

Tercero, a diferencia de otros materiales que son entregados listos para usarse, a menudo el concreto tiene que ser elaborado justamente antes de su uso, en la obra o cerca de ella.

El concreto tiene una estructura altamente heterogénea y compleja. Por lo tanto, es muy difícil construir modelos exactos de la misma que permitan predecir con seguridad el comportamiento del material. Sin embargo un conocimiento de la estructura y las propiedades de los componentes individuales del concreto y de las relaciones de unos con otros, es útil para ejercer algún tipo de control en las propiedades del material.

En este capítulo se describen tres componentes de la estructura del concreto: la pasta de cemento hidratado, el agregado y la zona de transición entre la pasta y el agregado.

6.2. LA ESTRUCTURA DEL CONCRETO.

El tipo, cantidad, dimensión, forma y distribución de las fases presentes en un sólido constituyen su estructura. Los elementos gruesos de la estructura de un material pueden verse fácilmente, mientras que los elementos más finos son en general detectados con la ayuda de un microscopio. El término macroestructura se utiliza generalmente para la estructura total, visible al ojo humano.

El límite de detección del ojo humano sin ayuda es de aproximadamente un quinto de milímetro ($200\mu\text{m}$). El término microestructura se utiliza para la parte ampliada microscópicamente de una macroestructura.

Al examinar una sección transversal de concreto, las dos fases que pueden distinguirse fácilmente son las partículas del agregado de variada dimensión y forma y el medio aglutinante, compuesto por una masa incoherente de la pasta de cemento hidratada. Por lo tanto, en el nivel macroscópico el concreto se puede considerar un material de dos fases, consistentes en partículas de agregado dispersas en una matriz de pasta de cemento.

En el nivel microscópico comienzan a mostrarse las complejidades de la estructura del concreto. Resulta obvio que las dos fases de la estructura no son homogéneamente distribuidas una con respecto a la otra, ni son ellas mismas homogéneas por ejemplo, en algunas áreas la masa de la pasta de cemento hidratada aparece tan densa como el agregado, mientras que en otras es altamente porosa.

En presencia del agregado, la estructura de la pasta de cemento hidratado en la vecindad de grandes partículas de agregado es en general muy diferente de la estructura de la pasta masiva o del mortero en el conjunto. De hecho, muchos aspectos del comportamiento del concreto bajo esfuerzo pueden explicarse solamente cuando la interfase (límite común entre los materiales) de la pasta de cemento – agregado, es tratado como un tercer componente de la estructura del concreto denominada como zona de transición, que representa la región límite común entre las partículas del agregado grueso y la pasta de cemento hidratado. Existiendo como un cascarón delgado, generalmente de 10 a 50 μm de espesor alrededor del agregado grueso, la zona de transición es en general más débil que cualquiera de los dos componentes principales del concreto y por lo tanto ejerce una influencia mayor en el comportamiento mecánico del concreto que lo que su tamaño refleja. Cada una de las tres fases: El agregado, la pasta de cemento hidratado y zona de transición. Esta, por su parte, compuesta de multifases en su naturaleza. Por ejemplo, cada partícula de agregado puede contener varios minerales, además de microgrietas y huecos.

De manera similar, tanto la masa de pasta de cemento hidratado como la zona de transición, contienen generalmente una distribución heterogénea de diferentes tipos y cantidades de fases sólidas, poros y microgrietas.

A diferencia de otros materiales de ingeniería, la estructura del concreto no permanece estable (es decir, no es una característica intrínseca del material). Esto es debido a que los dos componentes de la estructura: la pasta de cemento hidratado y la zona de transición, están sujetos a cambios con el tiempo, humedad del medio ambiente y temperatura.

6.2.1. ESTRUCTURA DE LA FASE AGREGADO

La composición y las propiedades de los diferentes tipos de agregados en el concreto se describen en el capítulo II de la presente tesis. Por lo tanto, aquí se dará solamente una breve descripción de las partes generales de la estructura del agregado, que ejercen una mayor influencia en las propiedades del concreto.

La fase del agregado es predominante responsable del peso unitario, del módulo de elasticidad y de la estabilidad dimensional del concreto. Estas propiedades dependen en gran parte de la densidad masiva y la resistencia del agregado, los que por su parte son determinados por las características físicas, más que por las características químicas de la estructura del agregado. En otras palabras, la composición química o mineral de las fases sólidas del agregado es generalmente menos importante que las características físicas tales como el volumen, el tamaño y la distribución de los poros.

Además de la porosidad, la forma y la textura del agregado grueso también afectan las propiedades del concreto.

En general, la grava natural tiene una forma redondeada y una textura superficial tersa. La roca triturada tiene una textura rugosa, dependiendo del tipo de roca y la elección de equipo triturado; el agregado triturado puede contener una proporción considerable de partículas planas y alargadas, lo cual afecta adversamente muchas propiedades del concreto.

Las partículas del agregado de peso ligero tales como la piedra pómez, que es altamente celular, son también angulares y tienen una textura rugosa, pero las partículas de arcilla expandida o de pizarra son generalmente redondeadas y tersas.

Siendo en general más resistente que las otras dos fases del concreto, la fase agregado no tiene influencia directa en la resistencia del concreto excepto en el caso de algunos agregados altamente porosos y débiles, tales como el agregado de piedra pómez descrito anteriormente. El tamaño y forma del agregado grueso puede sin embargo afectar la resistencia del concreto en una forma indirecta.

Es obvio, que cuanto más grande sea el agregado en el concreto y mayor la proporción de partículas alargadas y planas, mayor la proporción de partículas alargadas y planas, mayor será la tendencia de películas de agua a acumularse cerca de la superficie del agregado, debilitando así la zona de transición de la pasta de cemento-agregado. Este fenómeno, conocido como sangrado interno.

6.2.2. ESTRUCTURA DE LA PASTA DE CEMENTO HIDRATADO

Debe entenderse que el termino pasta de cemento hidratado se utiliza en este capítulo para referirse generalmente a pastas hechas con cemento portland. Aunque la composición y las propiedades del cemento portland se discuten en detalle en el capítulo I, aquí se dará un resumen de la composición, antes de discutir como la estructura de la pasta de cemento hidratado se desarrolla como resultado de las reacciones químicas de los minerales del cemento portland y el agua.

El cemento portland anhidro es un polvo gris que consiste en partículas angulares, generalmente dentro del rango de 1 a 50 μ m.

Se produce pulverizando el clinker con una pequeña cantidad de sulfato de calcio; siendo el clinker una mezcla heterogénea de varios minerales producidos por reacciones a alta temperatura entre oxido de calcio y sílice, alumina y oxido de fierro. La composición química de los principales minerales del clinker corresponde aproximadamente a C3S, C2S, C3A y C4AF; en un cemento portland ordinario sus cantidades respectivas son generalmente del rango de entre 45 y 60, 15 y 30, 6 y 8 por ciento.

Cuando el cemento portland es dispersado en el agua, el sulfato de calcio y los componentes de calcio a alta temperatura tienden a disolverse y la fase líquida se satura rápidamente con varias especies de iones. Como resultado de las combinaciones entre iones de calcio, de sulfatos, de aluminato y de iones hidroxilo, a los pocos minutos de hidratación del cemento, primero hace su aparición los cristales en forma de aguja de un hidrato de un sulfoaluminato de calcio llamado etringita; unas pocas horas después, grandes cristales prismáticos de hidróxido de calcio y cristales fibrosos muy pequeños de hidratos de silicato de calcio comienzan a llenar los espacios vacíos inicialmente ocupados por agua y por las partículas de cemento en solución alumina-sulfato del cemento portland, la etringita se vuelve inestable y se descompone para formar el hidrato de monosulfatos, que tiene una morfología de placa-hexagonal. La morfología de placa hexagonal es también característica de los hidratos de aluminato de calcio, que se forman en las pastas de hidratadas de cemento portland ya sea de bajos sulfatos, o de alto contenido de C3A. Un barrido con micrografía electrónica

que muestra la morfología típica de las fases preparadas con una mezcla de solución de aluminato de calcio, con solución de sulfato de calcio.

6.2.2.1. SÓLIDOS EN LA PASTA DE CEMENTO HIDRATADO

Los tipos, cantidades y características de las cuatro fases sólidas principales, presentes generalmente en una pasta de cemento hidratado, que se puede detectar por medio de un microscópico electrónico son los siguientes:

6.2.2.1.1. Hidrato de silicato de calcio.

La fase hidrato de silicato de calcio, abreviado H-S-C, representa de 50 a 60 por ciento del volumen de sólidos en una pasta de cemento portland completamente hidratada y es, por lo tanto, el más importante para determinar las propiedades de la pasta. El hecho de que el término H-S-C contenga guiones significa que el H-S-C no es un compuesto bien definido; La relación C/S varía entre 1.5 a 2.0 y el contenido de agua estructural varía aun más.

La morfología del H-S-C también varía desde fibras pobremente cristalinas a una red reticular.

Debido a sus dimensiones coloidales y una tendencia a hacinarse, los cristales de H-S-C podrán detectarse solamente con la ayuda de un microscopio óptico electrónico. El material a menudo llamado gel H-S-C, en la literatura antigua.

6.2.2.1.2. Hidróxido de calcio.

Los cristales de hidróxido de calcio (también llamados portlandita) constituye de 20 a 25 por ciento del volumen de los sólidos en la pasta hidratada. En contraste con el H-S-C, el hidróxido de calcio es un compuesto con el H-S-C, el hidróxido de calcio es un compuesto con una estequiometría definida, Ca(OH)_2 . tiende a formar grandes cristales con una morfología clara de prismas hexagonales. La morfología generalmente varía de no descriptible a haces de grandes placas y es afectada por el espacio disponible, la temperatura de

hidratación y las impurezas presentes en el sistema. Comparado con el H-S-C, el potencial de contribución a la resistencia del hidróxido de calcio, debido a las de Van der Waals es ilimitado, como resultado de un área superficial considerablemente menor. También la presencia de una cantidad considerable de hidróxido de calcio en el cemento portland hidratado tiene un efecto adverso en la durabilidad química frente a soluciones ácidas, debido a que la mayor solubilidad del hidróxido de calcio es mayor que la del H-S-C.

6.2.2.1.3. Sulfoaluminatos de calcio.

Los compuestos de sulfoaluminato de calcio ocupan de 15 a 20 por ciento del volumen de los sólidos en la pasta hidratada y juegan por lo tanto solamente un papel menor en las relaciones estructura-propiedades. Se ha establecido ya que durante las edades tempranas de hidratación, la relación de iones sulfato/alumina de la fase solución, favorece en general la formación de hidrato trisulfato, $C_6A_3S_3H_{32}$, también llamado etringita, con forma de cristales prismáticos en forma de aguja. En pastas de cemento portland ordinario, la etringita finalmente se transforma en hidrato de monosulfatos, C_4ASH_{18} , con forma de cristales planos – hexagonales. La presencia del hidrato de monosulfato en el concreto de cemento portland hace al concreto vulnerable al ataque de sulfatos. Debe notarse que tanto la etringita como el monosulfato contienen pequeñas cantidades de óxido de hierro, el cual puede sustituir al óxido de aluminio en las estructuras cristalinas.

6.2.2.1.4. Granos de clinker no hidratado.

Dependiendo de la distribución de partículas del cemento anhidro y del grado de hidratación, algunos granos de clinker no hidratados pueden encontrarse en la microestructura de las pastas de cemento hidratadas, aun largo tiempo después de la hidratación. Como se estableció anteriormente, las partículas de clinker en el cemento Portland moderno se hallan en general en el rango de 1 a 50 μ . Con el avance del proceso de hidratación, primero las partículas más pequeñas se disuelven (es decir, desaparecen del sistema) y

después las partículas mayores parecen hacerse más pequeñas. Debido al ilimitado espacio disponible entre las partículas, los productos de hidratación tienden a cristalizar en proximidad de las partículas hidratantes de clinker, lo que da una apariencia de formación de recubrimiento alrededor de ellas. A edades posteriores, debido a la falta de espacio disponible, la hidratación in situ de las partículas de clinker resulta en la formación de un producto de hidratación muy denso, que a veces se asemeja a la partícula original de clinker en su morfología.

6.2.2.2. HUECOS EN LA PASTA DE CEMENTO HIDRATADO

Además de los sólidos antes descritos, la pasta de cemento de cemento hidratado contiene varios tipos de huecos que tienen una influencia importante en sus propiedades. Los diversos tipos de huecos y su cantidad y significado se analizan a continuación.

6.2.2.2.1. Espacio entre capas en el H-S-C.

Powers supone que el ancho del espacio entrecapas dentro de la estructura del H-S-C es de $18A$ y considera que representa 28 por ciento de la porosidad en el H-S-C sólido; Sin embargo, Feldman y Sereda sugieren que el espacio puede variar de $5A$ a $25A$. Este tamaño de huecos es muy pequeño para tener un efecto adverso en la resistencia y en la permeabilidad de la pasta de cemento hidratado. Sin embargo, como se discute a continuación, el agua en estos pequeños huecos pueden ser retenida por adhesión del hidrógeno y su remoción bajo ciertas condiciones puede contribuir a la retracción por secado y al flujo plástico.

6.2.2.2.2. Huecos capilares.

Los huecos capilares representan el espacio no llenado por los componentes sólidos de la pasta de cemento hidratado. El volumen total de una mezcla agua-cemento permanece esencialmente sin

cambio durante el proceso de hidratación. La densidad promedio de la masa de los productos de hidratación, es considerablemente menor que la densidad del cemento portland anhidro; se estima que 1cm^3 de cemento en completa hidratación, requiere aproximadamente de 2cm^3 de espacio para acomodar los productos de la hidratación. Así, la hidratación del cemento puede considerarse como un proceso durante el cual el espacio originalmente ocupado por el cemento y el agua esta siendo reemplazado cada vez mas por el espacio llenado con productos de la hidratación. El espacio no ocupado por el cemento o por los productos de la hidratación consiste en huecos capilares, cuyo volumen y tamaño son determinados por la distancia original entre las partículas de cemento anhidro en la pasta de cemento fresca (es decir, la relación agua cemento) y el grado de hidratación del cemento. Mas adelante se describirá un método para calcular el volumen total de los huecos capilares, conocido popularmente como porosidad, en pastas de cemento portland que tienen ya sea diferente relación agua/cemento, o diferentes grados de hidratación.

6.2.2.2.3. Huecos de aire.

Mientras que los huecos capilares son irregulares en su forma, los huecos de aire son en general esférico. Por varias razones se puede agregar aditivos al concreto con el objeto de introducir huecos muy pequeños de aire en la pasta de cemento. El aire puede ser atrapado en la pasta de cemento. El aire puede ser atrapado en la pasta fresca de cemento durante la operación del mezclado. Los huecos de aire atrapado pueden ser tan grandes como 3nm ; los huecos de aire introducido generalmente varia de 50 a $200\mu\text{m}$. Por lo tanto, ambos los huecos atrapados y los huecos de aire en la pasta de cemento hidratado son mucho más grandes que los huecos capilares y son capaces de afectar adversamente su resistencia y su impermeabilidad.

6.2.2.3. AGUA EN LA PASTA DE CEMENTO HIDRATADO.

Bajo examen de microscopio electrónico, los huecos en la pasta de cemento hidratado aparecen vacíos. Esto es por que la técnica de preparación de la muestra requiere que esta se seque al alto vacío. En realidad, dependiendo de humedad del medio ambiente y de la porosidad de la pasta, la pasta de cemento no tratada es capaz de retener una gran cantidad de agua. Como las fases sólida y de vacío discutidas con anterioridad, el agua puede existir en la pasta de cemento hidratado en muchas formas. La clasificación del agua en varios tipos se basa en el grado de dificultad o facilidad con la que puede ser removida de la pasta de cemento hidratado. Puesto que hay una pérdida continua de agua en una pasta de cemento saturada, en cuanto se reduce la humedad relativa, la línea divisoria entre los diferentes estados del agua no es rígida. A pesar de esto, la clasificación es útil para entender las propiedades de la pasta de cemento hidratado. Además de vapor en los huecos vacíos o llenados parcialmente con agua, el agua existe en la pasta de cemento hidratado en los siguientes estados:

6.2.2.3.1. Agua capilar.

Es el agua presente en los huecos mayores de 50 Å. Puede ser imaginada como el agua masiva que esta libre de la influencia de las fuerzas de atracción ejercidas por la superficie sólida. En realidad, desde el punto de vista del comportamiento del agua capilar en la pasta de cemento hidratada, es conveniente dividir el agua capilar en dos categorías: el agua en los grandes huecos del orden de $> 50\text{nm}$ ($0.05\mu\text{m}$), que puede considerarse agua libre ya que su remoción no causa cambio de volumen, y el agua retenida por la tensión capilar en las pequeñas capilaridades (5 a 50nm), que al ser removida puede causar retracción del sistema.

6.2.2.3.2. Agua Absorbida.

Es el agua que esta cercana a la superficie sólida; es decir, bajo la influencia de las fuerzas de atracción, las moléculas de agua son

físicamente absorbidas en la superficie de los sólidos en la pasta de cemento hidratado. Se ha sugerido que hasta seis capas moleculares de agua (15 A), pueden ser retenidas físicamente por la adhesión del hidrógeno. Puesto que la energía de adherencia de las moléculas individuales de agua disminuye con la distancia de la superficie sólida, una mayor parte del agua absorbida puede perderse por secado de la pasta de cemento hidratado, con 330 por ciento de humedad relativa. La pérdida de agua absorbida es principalmente responsable de la retracción de la pasta de cemento hidratado por secado.

-Agua entre capas. Es el agua asociada con la estructura del H-S-C. Se ha sugerido que una capa de agua monomolecular entre las capas de H-S-C, es fuertemente retenida por la adhesión del hidrógeno. El agua entrecapas se pierde solamente por un fuerte secado (por ejemplo bajo 11 por ciento de humedad relativa). La estructura del H-S-C se contrae considerablemente cuando el agua entrecapas se pierde.

6.2.2.3.3. Agua químicamente combinada.

Es el agua que forma una parte integral de la estructura de varios productos de hidratación del cemento. Es agua no se pierde con el secado; aparece cuando los hidratos se descomponen por calentamiento. Con base en el modelo Feldman-Sereda.

6.2.3. ESTRUCTURA DE LA ZONA DE TRANSICIÓN

Debido a dificultades experimentales, la información sobre la zona de transición en el concreto es escasa; sin embargo, con base en una descripción dada por J.C. Maso, se puede lograr una comprensión de sus características estructurales, siguiendo la secuencia de su desarrollo desde el momento en que se coloca el concreto.

Primero, en un concreto recientemente compactado, las partículas de agua se forman alrededor de las partículas del agregado grueso. Esto podría ser la causa de una relación agua/cemento mas alta, más cercana al agregado

grueso que alejada de él (es decir en la masa del mortero). Enseguida, en la masa de la pasta, iones de calcio, de sulfato de hidroxilo y de aluminato, producidos por la disolución de los compuestos del sulfato de calcio y del aluminato de calcio, se combinan para formar etringita e hidróxido de calcio. Debido a la alta relación agua/cemento, estos productos cristalinos en la vecindad del agregado grueso están formados por cristales relativamente más grandes y por lo tanto forman un marco más poroso que en la masa de la pasta de cemento o en la matriz del mortero. Los cristales de hidróxido de calcio en forma de placas, tienden a formar capas orientadas, por ejemplo, con el eje C, perpendicular a la superficie del agregado.

Finalmente al avanzar la hidratación, el H-S-C pobremente cristalino y una segunda generación de cristales más pequeños de etringita y de hidróxidos de calcio, comienzan a llenar el espacio vacío que existe entre el marco creado por los grandes cristales de etringita y de hidróxido de calcio. Esto ayuda a mejorar la densidad y por lo tanto la resistencia de la zona de transición.

Resistencia de la zona de transición.

Como el caso de la pasta de cemento hidratado, la causa de la adhesión entre los productos de la hidratación y las partículas de agregado, es la fuerza de atracción de Van der Waals; por lo tanto, la resistencia de la zona de transición en cualquier punto, depende del volumen y del tamaño de los huecos presentes. Aun para un concreto con baja relación agua/cemento, a edades tempranas, el volumen y el tamaño de los huecos en la zona de transición será más grande que en la masa del mortero; consecuentemente, el primero es más débil en resistencia sin embargo, con el incremento de la edad, la resistencia de la zona de transición puede igualarse o aun ser mayor que la resistencia de la masa del mortero. Esto podrá suceder como resultado de la cristalización de nuevos productos en los huecos de la zona de transición, por reacciones químicas lentas entre los componentes de la pasta de cemento y el agregado, la formación de hidratos de silicatos de calcio, en el caso de agregados silíceos o la formación de hidratos de carboaluminato en el caso de piedra caliza. Tales interacciones contribuyen a la resistencia debido a que ellas también tienden a reducir la

concentración del hidróxido de calcio en la zona de transición. Los grandes cristales de hidróxido de calcio poseen menos capacidad de adhesión, no solamente debido a un área superficial menor y la correspondiente debilidad de las fuerzas de atracción de Van der Waals, sino también porque sirven como sitios de ruptura preferidos debido a su estructura orientada.

Además del gran volumen de los huecos capilares y de los cristales de hidróxido de calcio orientados, el principal factor responsable de la pobre resistencia de la zona de transiciones el concreto es la presencia de microgrietas. La cantidad de microgrietas depende de numerosos parámetros, incluyendo el tamaño del agregado y su granulometría, el contenido de cemento, la relación agua/cemento, el grado de compactación del concreto fresco, las condiciones de curado, la humedad del ambiente y la historia térmica del concreto. Por ejemplo: una mezcla de concreto que contenga un agregado pobremente graduado es más propensa a la segregación al compactarse; así, se pueden formar gruesas películas de agua alrededor del agregado grueso, especialmente bajo la partícula. En condiciones idénticas, cuanto más grande sea el tamaño del agregado mas gruesa será la película de agua. La zona de transición formada en estas condiciones, será susceptible de agrietarse cuando se exponga a la influencia de esfuerzos de tensión inducidos por movimientos diferenciales entre el agregado y la pasta de cemento de hidratado.

CAPITULO VII

PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

7.1. GENERALIDADES

Dentro del objetivo de obtener un concreto con ciertas características deseables de comportamiento, el primer paso es la selección de los materiales componentes, el siguiente paso es un proceso llamado proporcionamiento de mezcla por medio del cual se llega a la combinación correcta de los componentes. Aunque existen principios técnicos confiables que rigen las proporciones de la mezcla, por razones de gran validez el procedimiento no se encuentra enteramente dentro del ámbito de la ciencia. Sin embargo, puesto que las proporciones de la mezcla tienen una gran influencia en el costo y en las propiedades del concreto, es importante que los ingenieros que son llamados a menudo para desarrollar o aprobar las proporciones de una mezcla, estén familiarizados con los principios fundamentales y con los procedimientos comúnmente utilizados.

El proporcionamiento de las mezclas de concreto, también llamado proporcionamiento de mezclas o diseños de mezcla, es un medio a través del cual se llega a la combinación correcta del cemento, agregados, agua y aditivos, para elaborar un concreto de acuerdo con ciertas especificaciones; por varias razones este proceso es considerado un arte más que una ciencia, aunque muchos ingenieros no se sienten a gusto con aspectos que no se pueden reducir a un grupo exacto de números, con un entendimiento de los principios fundamentales y con alguna práctica, el arte de proporcionar las mezclas de concreto puede dominarse. Teniendo la oportunidad, el ejercicio de este arte es muy lucrativo porque los efectos del proporcionamiento de una mezcla en el costo del concreto y en diversas propiedades importantes tanto del concreto fresco como del concreto endurecido se pueden apreciar claramente.

Uno de los propósitos del proporcionamiento de una mezcla es el de obtener un producto que actúe de acuerdo con ciertos requerimientos predeterminados, siendo los requisitos esenciales la trabajabilidad del concreto fresco y la resistencia del concreto endurecido, a una edad específica.

Otro propósito del proporcionamiento de una mezcla es el de obtener un concreto que satisfaga los requisitos de funcionamiento al menor costo posible; esto incluye decisiones en cuanto a la selección de los ingredientes que no sean solo adecuados, sino que estén disponibles a precios razonables. El objetivo total del proporcionamiento de mezclas de concreto puede por lo tanto resumirse en seleccionar los ingredientes adecuados entre los materiales disponibles y determinar la combinación más económica para producir un concreto con ciertas características mínimas de comportamiento.

Existen diversos métodos de diseños de mezcla de concreto, para la aplicación de estos se a desarrollado en base a experiencias realizadas por los investigadores, diversas tablas y factores.

En la práctica, la experiencia general y propia ha demostrado que la aplicación de estas recomendaciones muchas veces no nos conducen a obtener los resultados previstos por las mismas y en realidad esto es de esperarse, ya que dichas recomendaciones y tablas son el producto de experiencias desarrolladas con los materiales y condiciones propias del medio en el cual fueron realizadas, y más aún si es con materiales y condiciones selectos. Así pues estos métodos y tablas constituyen una guía en base a la que debemos de realizar mezclas de prueba con los materiales que se van a utilizar, para después de los correspondientes ajustes determinar el diseño final que cumpla con nuestros requerimientos.

En el presente estudio para el diseño de mezclas seguimos la secuencia del método del Comité 211 del ACI con la variante en la determinación de los porcentajes de agregados, lo cual la haremos mediante el método del máximo peso unitario compactado.

La relación **agua/cemento** usada en la presente investigación para todos los diseños de concreto es de **0.45**

7.2. DISEÑO DE MEZCLAS SIN ADITIVO

DATOS PARA EL DISEÑO:

- Tipo y marca del cemento.
- Peso específico del cemento.

- Tamaño Nominal Máximo del agregado grueso.
- Forma y textura del agregado grueso.
- Peso específico de los agregados.
- Contenido de humedad de los agregados.
- Porcentaje de absorción de los agregados.
- Proporción de los agregados.

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLAS:

1. Elección de la relación agua/cemento.
2. Elección de la consistencia.
3. Estimación del contenido de aire atrapado por m³ de concreto.
4. Estimación de la cantidad de agua de diseño por metro cúbico de concreto, según la consistencia deseada.
5. Cálculo de la cantidad de cemento en peso por metro cúbico de concreto.
6. Cálculo de la suma de volúmenes de agregado fino y grueso.
7. Cálculo del peso seco por metro cúbico de los agregados fino y grueso respectivamente, en base a las proporciones preestablecidas.
8. Cálculo de los volúmenes por metro cúbico de los agregados fino y grueso.
9. Corrección de los pesos de los agregados fino y grueso por humedad natural de estos.
10. Corrección de la cantidad de agua de diseño por humedad de los agregados.
11. Para el diseño de una tanda se obtiene en forma proporcional la cantidad de materiales respectivos para una tanda de prueba de 54 Kg de concreto
12. Después de obtenida mediante el ensayo, la consistencia real, si esta no resulta esperada, en base a esta experiencia se estima una nueva cantidad de agua de diseño y se procede a un nuevo diseño de mezcla y así hasta obtener la consistencia deseada.

Para la presente tesis se han elegido como diseños de mezcla patrón a las determinadas por la relación **agua/cemento = 0.45**, con **cementos tipo I, V y IP**, para **asentamientos entre 3" y 4"**, para iniciar el procedimiento de **diseño de mezclas se ha iniciado con el cemento tipo I**.

7.2.1. DETERMINACIÓN DE LA RELACION DE AGREGADOS, RESPECTO AL MÁXIMO PESO UNITARIO.

7.2.1.1. CRITERIO DE DISEÑO

El presente trabajo de diseño de mezcla se basa en el criterio de optimización de los materiales, para obtener un óptimo concreto, para ello se encontró la relación de proporciones de combinación de agregados con máximo peso unitario, esto con el objeto de tener menor relación de vacíos, se asegura de este modo la condición de economía, más no así las propiedades de resistencia y durabilidad que posteriormente se analizarán.

Se diseñarán para cada relación de arena piedra, curándolos por espacios de siete (7) días y se realizará el ensayo de resistencia a la compresión. El mayor valor que se obtenga, en comparación al obtenido con el máximo peso unitario se obtendrá la óptima relación de arena/piedra, además de obtener la cantidad de agua. Esto es porque se buscará un concreto que tenga un asentamiento comprendido entre 3"- 4" , la relación a/c usada para dicha verificación es 0.45

7.2.1.2. DETERMINACION DE LA RELACION ARENA PIEDRA

Para este trabajo se realizará el diseño de mezcla para las relaciones agua/cemento: 0.45.

El criterio de diseño utilizado es de la mejor combinación de agregados, determinada mediante el **peso unitario compactado del Agregado Global que se determino en 54% de arena y 46% de piedra**, el cual lo

consideraremos como un primer indicador de los porcentajes de agregado en la mezcla.

Cuadro 7.2.1.2.1- Combinación de agregados mediante el peso unitario compactado del agregado global

Combinación de agregados		Peso unitario compactado (Kg/m ³)
pedra 56%	arena 44%	1967.085
pedra 54%	arena 46%	1982.095
pedra 52%	arena 48%	2000.988
pedra 50%	arena 50%	2038.600
pedra 48%	arena 52%	2043.015
pedra 46%	arena 54%	2046.607
pedra 44%	arena 56%	2039.480

Es por ello deseando tomar en cuenta la resistencia, se hará diseños de mezcla variando la relación porcentual de agregados, considerando puntos extremos respecto al obtenido al máximo peso unitario compactado del agregado global. Por este motivo se diseñará para los siguientes porcentajes:

Cuadro 7.2.1.2.2- Porcentajes de agregados para obtener la mejor combinación

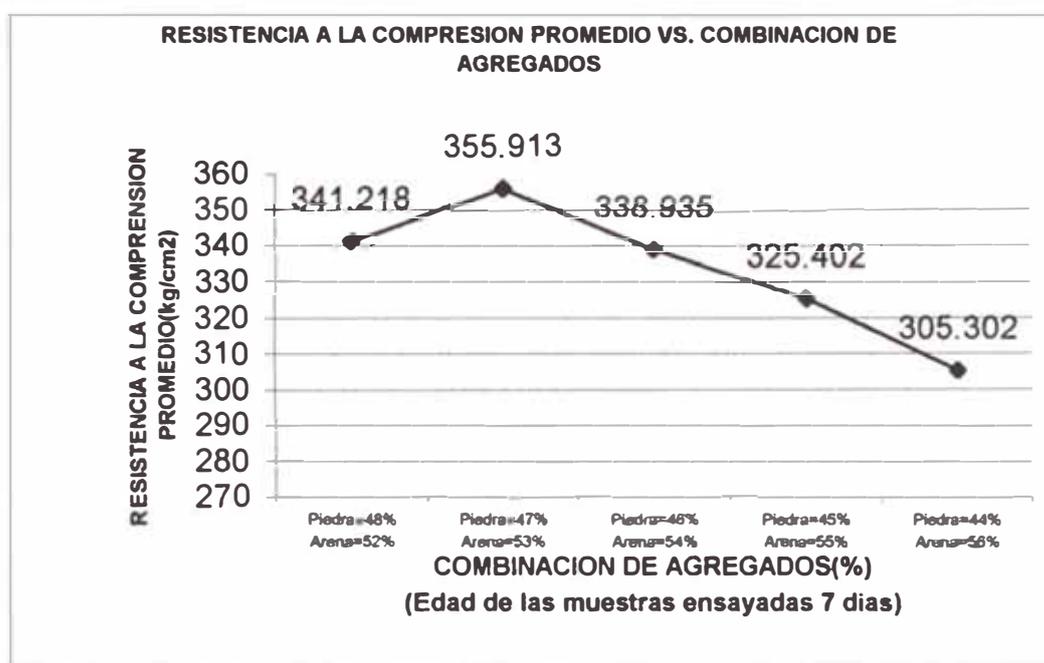
Agregado Fino (%)	Agregado Grueso (%)
52	48
53	47
54	46
55	45
56	44

Se utilizará el cemento Sol Portland tipo I, para la relación agua/cemento de 0.45 y con un asentamiento de 3" a 4" para el diseño de mezcla

Cuadro 7.2.1.2.3.-Resultados de resistencia a la compresión para obtener mejor combinación de agregados

Combinación de agregados	Resistencia a la compresión promedio
Piedra=48% Arena=52%	341.218
Piedra=47% Arena=53%	355.913
Piedra=46% Arena=54%	338.935
Piedra=45% Arena=55%	325.402
Piedra=44% Arena=56%	305.302

Grafico 7.2.1.2.1.- Resistencia a la compresión vs combinación de agregados para obtener mejor combinación de agregados



Del grafico se puede observar que la mejor relación de agregados con una mayor resistencia a la compresión es con **53 % de arena y 47 % de piedra** en peso.

7.2.2. DISEÑO DEL CONCRETO PATRON.

Luego de determinar por el método de compacidad la óptima relación arena/piedra, la cual corresponde a 53% de arena y 47% de piedra, ahora realizaremos el diseño de la mezcla del concreto patrón considerando esta relación; primero buscaremos el agua óptima que cumpla para que el concreto tenga un asentamiento entre 3" a 4", para esto se diseñarán para diferentes cantidades de agua y hallando el asentamiento para cada una de ellas; posteriormente con la relación $a/c = 0.45$ se calculará la cantidad de cemento y por último determinar la cantidad de agregado basándose en los porcentajes en peso de arena y piedra.

Antes de realizar un diseño de mezcla, se debe contar con información de los materiales que serán empleados. Las características de estos materiales a utilizar en los diseños son:

Cuadro 7.2.2.1.- Propiedades de materiales empleados para el diseño del concreto.

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Peso Especifico	2.5371 gr/cm ³	2.6973 gr/cm ³
Contenido de humedad (%)	0.284 %	0.385 %
Porcentaje de absorción (%)	1.11 %	1.14 %
Peso unitario suelto	1664.8 kg/m ³	1424.9 kg/m ³
Peso unitario compactado	1967.1 kg/m ³	1619.2 kg/m ³
Modulo de finura	3.17	6.33
Tamaño nominal máximo	-	1/2"

Módulo de finura de la combinación: 4.84.

CEMENTO PORTLAND TIPO I – “SOL”	
PESO ESPECIFICO	3120 kg/m ³

CEMENTO PORTLAND TIPO V - “ANDINO”	
PESO ESPECIFICO	3150 kg/m ³

CEMENTO PORTLAND TIPO IP - “ATLAS”	
PESO ESPECIFICO	3050 kg/m ³

7.2.2.1. DISEÑO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE AGUA:

Se debe acotar que **todos los diseños se realizarán con la relación agua/cemento de 0.45.**

- PROCEDIMIENTO DE DISEÑO:

Usaremos el cemento tipo I con peso específico de 3120 kg/m^3

Elección de la relación agua/cemento:

$$\text{agua/cemento} = 0.45$$

Elección de la consistencia:

Concreto de consistencia plástica

Rango de asentamiento: 3" a 4"

Elección del contenido de aire atrapado por metro cúbico de concreto:

Cuadro 7.2.2.2.- Contenido de aire atrapado por m³ de concreto

CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	
Tamaño Nominal Máximo	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

En base a la tabla anterior que da el porcentaje aproximado de aire atrapado en mezclas sin aire incorporado, para diferentes Tamaños Nominales Máximos del agregado grueso adecuadamente graduado dentro de los requisitos de la Norma NTP 400.037 ó ASTM C-33. Para T.N.M. de 1/2" el contenido de aire es de 2.5% del volumen del concreto.

Estimación de la cantidad de agua de diseño por metro cúbico de concreto, según la consistencia deseada.

Cuadro 7.2.2.3.-Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados

Asentamiento	Agua, en l/m ³ , para los Tamaños Máximos 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	---
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	---

En base a la tabla anterior (confeccionada por el comité 211 del ACI), para concreto sin aire incorporado, y en función del Tamaño Nominal Máximo del agregado grueso y para un asentamiento entre 3" y 4", se estima una cantidad de agua de diseño para agregados en estado seco de 216 l por m³ de concreto.

Cálculo de la cantidad de cemento en peso por metro cúbico de concreto.

Conociendo la relación de agua/cemento y la cantidad de agua de diseño, se obtiene la cantidad de cemento:

$$\text{Agua/cemento} = 0.45 = 216/\text{cemento}, \text{ entonces: cemento} = 480\text{kg}$$

Cálculo de la suma de volúmenes de agregado fino y grueso:

$$\text{Vol. Agregados} = \text{Vol. Total} - (\text{Vol. Agua} + \text{Vol. Cemento} + \text{Vol. Aire})$$

$$\text{Vol. Agregados} = 1 - (0.216 + 480/3120 + 0.025) = 0.605\text{m}^3$$

Cálculo del peso seco por metro cúbico de concreto de los agregados fino y grueso respectivamente, en base a las proporciones preestablecidas:

Resolvemos el sistema de ecuaciones siguiente para calcular los pesos de los agregados secos:

(I) vol. De agregados $= 0.605 = \text{peso arena} / \text{p. espec. arena} + \text{peso piedra} / \text{p. espec. piedra}$

(II) % en peso de arena $= 0.53 = \text{peso de arena} / (\text{peso de arena} + \text{peso de piedra})$

resolviendo:

peso de la arena $= 837.095 \text{ kg}$

Peso de la piedra $= 742.330 \text{ kg}$

Cálculo de los volúmenes por metro cúbico de los agregados fino y grueso:

$$\text{Volumen de la arena} = 837.095 / 2537.1 = 0.330 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de la piedra} = 742.330 / 2697.3 = 0.275 \text{ m}^3$$

Correlación de los pesos de los agregados fino y grueso por humedad natural de estos:

Peso de arena húmeda $= \text{peso de arena seca} (1 + \text{CHar} / 100)$

Peso de arena húmeda $= 837.095 (1 + 0.284 / 100) = 839.472 \text{ kg}$

Peso de piedra húmeda $= \text{peso de piedra seca} (1 + \text{CHpd} / 100)$

Peso de piedra húmeda $= 742.35 (1 + 0.385 / 100) = 745.188 \text{ kg}$

Corrección de la cantidad de agua de diseño por humedad de los agregados:

Corrección por arena $= \text{peso de arena seca} (\text{CHar} - \text{Abs. Are}) / 100$

Corrección por arena $= 837.095 (0.284 - 1.11) / 100 = -6.914$

Corrección por piedra $= \text{peso piedra seca} (\text{CHpd} - \text{Abspd}) / 100$

Corrección por piedra $= 742.33 (0.385 - 1.14) / 100 = -5.609$

Corrección de agua total $= -6.914 - 5.609 = -12.519 \text{ lt}$

Agua corregida $= \text{agua de diseño} - \text{corecc. Total} = 216 - (-12.519)$

$= 228.519 \text{ kg}$

Para el diseño una tanda se obtiene en forma proporcional la cantidad de materiales respectivos para una tanda de prueba de 54 kg de concreto:

Para ello se tomarán en cuenta los pesos de los materiales en estado húmedo, así como el valor del Peso Unitario Nominal del concreto (suma de pesos húmedos), que en este caso es de 2293.204.

Cemento	= 480x54/pun	= 11.302
Agua	= 228.519x54/pun	= 5.381
Arena	= 839.472x54/pun	= 19.768
Piedra	= 745.188x54/pun	= 17.548
Aire	= 0.025x54/pun	= 0.001
TOTAL		= 54 kg

Resultado del ensayo de consistencia (asentamiento mediante el cono de Abrams)= 0"

Después de obtenida mediante el ensayo, la consistencia real, en base a esto se estima una nueva cantidad de agua de diseño y se procede a un nuevo diseño de mezcla, y así hasta obtener la consistencia deseada. Para poder hallar el agua de diseño óptima se registra las diversas consistencias con las diversas cantidades de agua de diseño de las mezclas de prueba y se dibuja una línea de tendencia, para que por interpolación o extrapolación se logre determinar más rápidamente la cantidad de agua de diseño, que nos permite obtener la consistencia deseada.

A continuación en una forma más dinámica se presentan las diversas mezclas de prueba para los concreto patrón de relación agua/cemento de 0.45, hasta obtener el agua de diseño óptima para la consistencia requerida. con los cementos tipo I, V y tipo IP respectivamente, para obtener el agua de diseño que nos de la consistencia requerida, esto es por que el agua de diseño requerida es diferente para cada tipo de cemento.

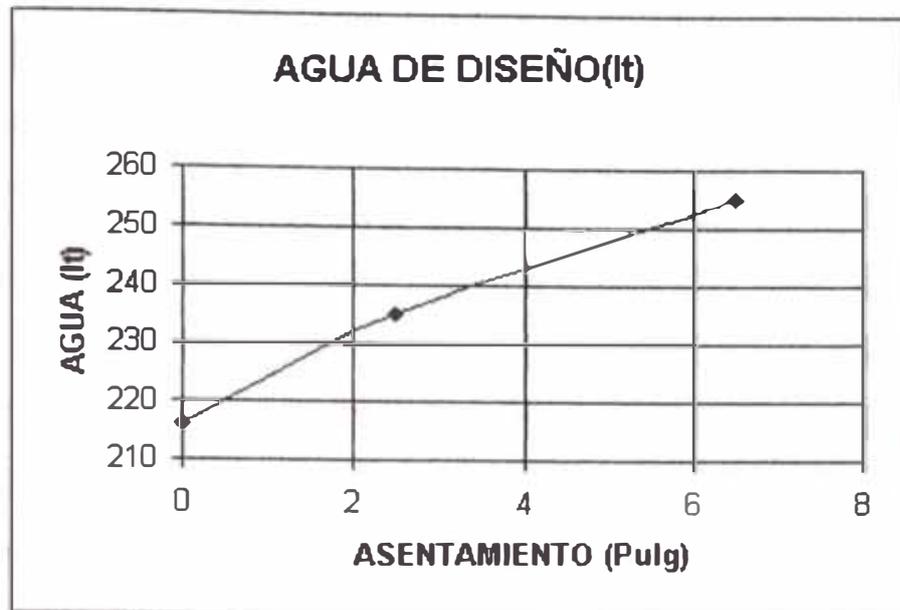
El procedimiento de diseño seguido será el mismo para todos los diseños de mezcla del concreto patrón, por lo que presentamos un cuadro de resumen del cálculo y el asentamiento obtenido.

Cuadro 7.2.2.4.-Diseño de mezcla para determinar el agua requerida cemento sol tipo I a/c= 0.45

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	DOSIFICACION POR m ³ DE CONCRETO			DOSIFICACION POR TANDA		
		PESO SECO (kg)	PESO HUMEDO (kg)	VOLUMEN (m ³)	MATERIAL	D.U.	TANDA (54 kg)
a/c= 0.45 %Arena= 53 Agua(lt)= 216	Cemento	480.0	480.0	0.154	Cemento	1.000	11.30
	Agua	216.0	228.5	0.216	Agua	0.450	5.38
	Arena	837.1	839.5	0.330	Arena	1.744	19.77
	Piedra	742.3	745.2	0.275	Piedra	1.547	17.55
	% de Aire	0.025		0.025			
	Total			2293.2	1	TOTAL	
ASENTAMIENTO:							0"
a/c= 0.45 %Arena= 53 Agua(lt)= 235	Cemento	522.2	522.2	0.167	Cemento	1.000	12.43
	Agua	235.0	246.8	0.235	Agua	0.450	5.88
	Arena	792.1	794.3	0.312	Arena	1.517	18.91
	Piedra	702.4	705.1	0.260	Piedra	1.345	16.78
	% de Aire	0.025		0.025			
	Total			2268.5	1	TOTAL	
ASENTAMIENTO:							2 1/2"
a/c= 0.45 %Arena= 53 Agua(lt)= 255	Cemento	566.7	566.7	0.182	Cemento	1.000	13.64
	Agua	255.0	266.1	0.255	Agua	0.450	6.41
	Arena	744.7	746.8	0.294	Arena	1.314	17.98
	Piedra	660.4	663.0	0.245	Piedra	1.165	15.96
	% de Aire	0.025		0.025			
	Total			2242.6	1	TOTAL	
ASENTAMIENTO:							6 1/2"
a/c= 0.45 %Arena= 53 Agua(lt)= 239	Cemento	531.1	531.1	0.170	Cemento	1.000	12.67
	Agua	239.0	250.7	0.239	Agua	0.450	5.98
	Arena	782.6	784.8	0.308	Arena	1.474	18.73
	Piedra	694.0	696.7	0.257	Piedra	1.307	16.62
	% de Aire	0.025		0.025			
	Total			2263.4	1	TOTAL	
ASENTAMIENTO:							3 3/4"

Grafico 7.2.2.1.-Determinación de la cantidad de agua cemento sol tipo I

a/c = 0.45

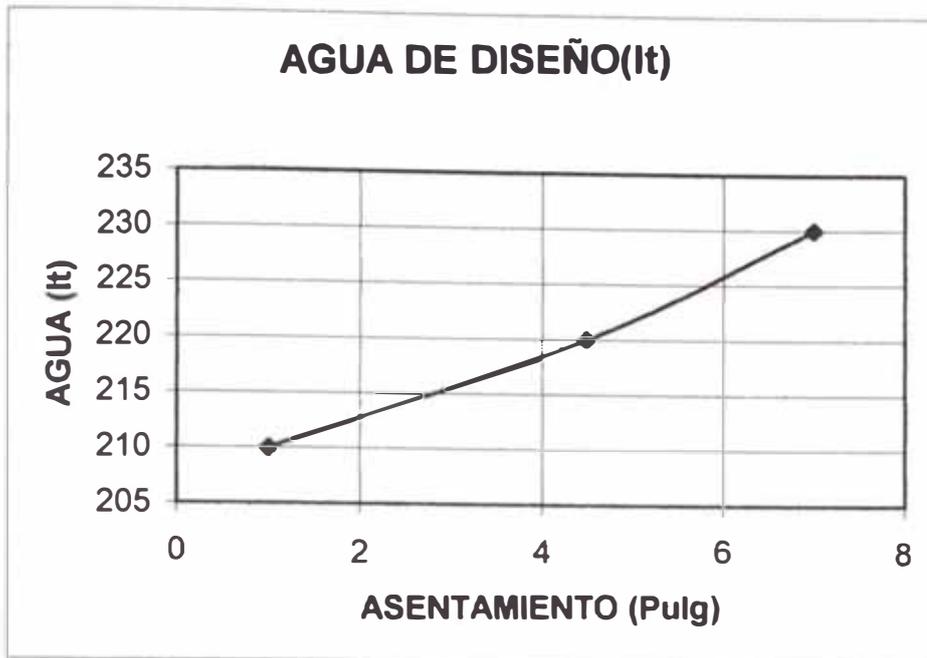


Agua de diseño : 239 l Slump: 3 ¾"

Cuadro 7.2.2.5.-Diseño de mezcla para determinar el agua requerida cemento andino tipo V a/c= 0.45

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	DOSIFICACION POR m ³ DE CONCRETO			DOSIFICACION POR TANDA		
		PESO SECO (kg)	PESO HUMEDO (kg)	VOLUMEN (m ³)	MATERIAL	D.U.	TANDA (54 kg)
a/c= 0.45 %Arena= 53 Agua(It)= 210	Cemento	466.67	466.67	0.148	Cemento	1	10.93
	Agua	210.00	222.66	0.210	Agua	0.45	5.22
	Arena	853.48	855.90	0.337	Arena	1.83	20.05
	Piedra	756.86	759.77	0.282	Piedra	1.62	17.80
	% de Aire	0.025		0.025			
	Total		2305.00	1	TOTAL		54
	ASENTAMIENTO:						1"
a/c= 0.45 %Arena= 53 Agua(It)= 230	Cemento	511.1	511.1	0.162	Cemento	1	12.11
	Agua	230	242.1	0.23	Agua	0.45	5.74
	Arena	806.1	808.4	0.318	Arena	1.577	19.15
	Piedra	714.8	717.6	0.265	Piedra	1.399	17
	% de Aire	0.025		0.025			
	Total		2279.1	1	TOTAL		54
	ASENTAMIENTO:						7"
a/c= 0.45 %Arena= 53 Agua(It)= 220	Cemento	488.9	488.9	0.155	Cemento	1	11.52
	Agua	220	232.4	0.22	Agua	0.45	5.48
	Arena	829.7	832	0.327	Arena	1.697	19.6
	Piedra	735.8	738.6	0.273	Piedra	1.505	17.4
	% de Aire	0.025		0.025			
	Total		2291.9	1	TOTAL		54
	ASENTAMIENTO:						4 1/2"
a/c= 0.45 %Arena= 53 Agua(It)= 215	Cemento	477.8	477.8	0.152	Cemento	1	11.23
	Agua	215	227.6	0.215	Agua	0.45	5.35
	Arena	841.5	843.9	0.332	Arena	1.761	19.83
	Piedra	746.2	749.1	0.277	Piedra	1.562	17.6
	% de Aire	0.025		0.025			
	Total		2298.3	1	TOTAL		54
	ASENTAMIENTO:						3 3/4"

**Grafico 7.2.2.2.- Determinación de la cantidad de agua
cemento andino tipo V a/c = 0.45**

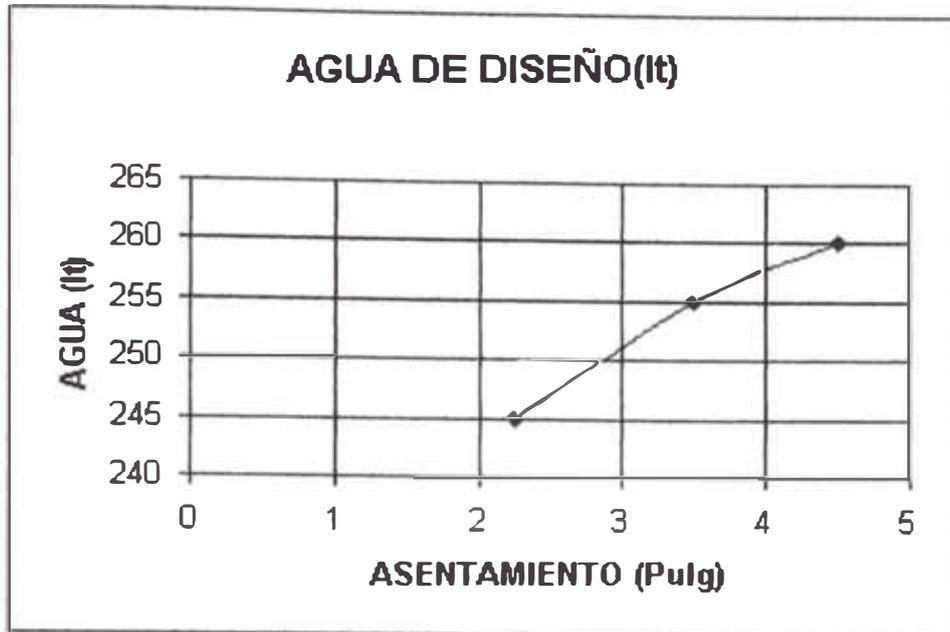


Agua de diseño : 215 l Slump: 3 ¾"

**Cuadro 7.2.2.6.-Diseño de mezcla para determinar el agua requerida
cemento atlas tipo IP a/c= 0.45**

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	DOSIFICACION POR m ³ DE CONCRETO			DOSIFICACION POR TANDA		
		PESO SECO (kg)	PESO HUMEDO (kg)	VOLUMEN (m ³)	MATERIAL	D.U.	TANDA (54 kg)
a/c= 0.45 %Arena= 53 Agua(lt)= 245	Cemento	544.4	544.4	0.179	Cemento	1	13.1
	Agua	245	256.4	0.245	Agua	0.45	6.17
	Arena	762.9	765	0.301	Arena	1.401	18.4
	Piedra	676.5	679.1	0.251	Piedra	1.243	16.33
	% de Aire	0.025		0.025			
	Total		2245	1	TOTAL		54
					ASENTAMIENTO: 2 1/4"		
a/c= 0.45 %Arena= 53 Agua(lt)= 260	Cemento	577.8	577.8	0.189	Cemento	1	14.02
	Agua	260	270.9	0.26	Agua	0.45	6.57
	Arena	727	729.1	0.287	Arena	1.258	17.69
	Piedra	644.7	647.2	0.239	Piedra	1.116	15.71
	% de Aire	0.025		0.025			
	Total		2224.9	1	TOTAL		54
					ASENTAMIENTO: 4 1/2 "		
a/c= 0.45 %Arena= 53 Agua(lt)= 255	Cemento	566.7	566.7	0.186	Cemento	1	13.71
	Agua	255	266.1	0.255	Agua	0.45	6.44
	Arena	739	741.1	0.291	Arena	1.304	17.93
	Piedra	655.3	657.8	0.243	Piedra	1.156	15.92
	% de Aire	0.025		0.025			
	Total		2231.6	1	TOTAL		54
					ASENTAMIENTO: 3 1/2 "		

**Grafico 7.2.2.3.-Determinación de la cantidad de agua
cemento atlas tipo IP a/c = 0.45**



Agua de diseño : 255 l Slump: 3 ½"

7.3. DISEÑO DEL CONCRETO CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE:

En este punto de la investigación lo que se busca es averiguar hasta donde el aditivo superplastificante “Sika Viscocrete 3” influye en la resistencia y propiedades del concreto. Para determinar esto se aplicara el mismo método que para el diseño del concreto patrón. Se aplicarán tres dosificaciones de aditivo a saber 0.4%, 0.8% y 1.2 % de peso del cemento; cabe recalcar que se producirá reducción de agua por aplicación del aditivo hasta tener un concreto plástico con asentamiento de 3” a 4”, la base será el concreto patrón.

Se parte de un diseño patrón en el cual ya se conocen las cantidades de todos sus componentes, el procedimiento de diseño con aditivo es un proceso experimental mediante mezclas de prueba.

En la mezcla de prueba el único componente que varía en su cantidad es el agua y como es natural también se cuenta con un nuevo componente que es el aditivo.

PROCEDIMIENTO:

1. Se colocan frente a la mezcladora todos los componentes de la mezcla patrón.
2. Se mide con precisión mediante una probeta graduada la cantidad de aditivo a usarse según previa determinación (la cantidad de aditivo a usarse es un porcentaje en peso del cemento del concreto patrón).
3. Se diluye el aditivo en una parte del agua de mezclado y se reserva la otra parte.
4. Se realiza el procedimiento de mezclado de los componentes (con la mezcladora en movimiento), con la parte en donde se ha diluido el aditivo.
5. Luego se vierte a la mezcladora en forma progresiva la parte del agua sin aditivo reservada, hasta que la mezcla tenga la apariencia de alcanzar la consistencia deseada.
6. Se realiza el ensayo de consistencia y si esta resulta ser la deseada entonces la mezcla obtenida constituye el diseño buscado.

7. Se mide con precisión a través de la probeta graduada el agua sin aditivo sobrante que resulta ser la "la cantidad de agua reducida".
8. A partir de la cantidad de cada material que ha intervenido en la mezcla (tanda) de prueba se calculan las cantidades de cada material por metro cúbico de concreto, relación agua/cemento resultante final, porcentaje de reducción de agua etc.

CORRELACION DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA CON ADITIVO SIKA VISCOCRETE 3 EN PORCENTAJES DE 0.4% Y 0.8% EN PESO DEL CEMENTO, CON LOS RESPECTIVOS DISEÑOS PATRON.

Para poder correlacionar a los diseños con aditivo respecto a los diseños patrones se utiliza la propiedad de la consistencia, realizándose ésta mediante el asentamiento medido con el cono de Abrams. La consistencia deberá ser plástica con un asentamiento entre 3" y 4" tanto para los diseños patrón como con aditivo.

DISEÑOS DE MEZCLA CON ADITIVO SIKA VISCOCRETE-3 EN PORCENTAJE DE 1.2% EN PESO DEL CEMENTO.

En el proceso de ensayo cuando se utiliza el aditivo Sika Viscocrete 3 en porcentajes de 1.2%, se produce incertidumbre al tratar de conseguir asentamientos entre 3" y 4" y al mismo tiempo obtener mezclas trabajables y más aún mezclas con homogeneidad garantizada, esto es:

- Cuando se intenta obtener un asentamiento cercano a las 3", la mezcla se muestra muy seca y con dificultades en el momento del mezclado, de lo observado existe duda de conseguir una mezcla homogénea, lo que es exigencia primordial en un buen concreto. Esta mezcla tiene por características que dentro de la mezcladora los componentes se aglutinan entre ellos, mezclándose y formando especie de "pelotas", pero que al cesar el movimiento giratorio de la mezcladora se van asentando lentamente por lo que se ha observado, existe inclusive la probabilidad de que existan partículas de agregado que no son cubiertas adecuadamente.

- Cuando se intentan obtener revenimientos de $3 \frac{1}{2}$ ", el asentamiento se vuelve incontrolable, a este fenómeno lo hemos llamado "asentamiento dinámico" en razón de que al momento de levantar el cono se obtiene un asentamiento que esta en movimiento, llegándose a detener el mencionado movimiento en un tiempo promedio de 15 segundos.

Las mezclas a las que se les ha observado un asentamiento dinámico son mezclas homogéneas, a ellas las hemos llamado "autonivelantes" debido a que cuando son vertidas de la mezcladora a la carretilla estas en un proceso similar al ensayo del cono se van autonivelando hasta formar una superficie exactamente horizontal, sin ninguna ayuda mecánica. Sin embargo, una observación que es importante tener en cuenta que al intentar remover con el badilejo estas mezclas el trabajo mecánico que se tiene que realizar es mucho mayor que para las mezclas patrón y aquellas donde se añadió 0.4% y 0.8% de aditivo, es decir la cohesión de la mezcla es mucho mayor.

En consecuencia, para correlacionar las mezclas con contenido de aditivo del 1.2 %, no se ha usado el criterio de obtener asentamiento entre 3" y 4" por las razones ya expuestas se buscó un concreto con asentamiento de 6".

7.3.1. PROPORCION DEL CONCRETO CON CEMENTO TIPO I Y CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE SIKA VISCOCRETE 3.

Luego de determinar el diseño del concreto patrón y la cantidad de agua para la relación a/c = 0.45, se realizará el diseño del concreto aplicando el aditivo, para lo cual seguiremos el mismo procedimiento y buscando un asentamiento entre 3" a 4".

7.3.1.1. DISEÑO 0.4% DE ADITIVO, CEMENTO TIPO I.

Este corresponde para un diseño de concreto con 0.4% de aditivo del peso de cemento,

esto es basado del concreto patrón.

Corrección de pesos de agregados por humedad natural:

$$\begin{aligned} \text{peso de arena húmeda/peso de arena seca} &= (1+C.H.Ar./100)= & f_a &= 1.00284 \\ \text{peso de piedra húmeda/peso de piedra seca} &= (1+C.H.Pd./100)= & f_p &= 1.00385 \\ \text{corrección de la cantidad de agua de mezclado por Humedad y Absorción de los agregados:} & & & \\ \text{correc. Por arena/peso de arena seca} &= (C.H.Ar.-Abs.Ar)/100= & F_{ca} &= -0.00826 \\ \text{correc. Por piedra/peso de piedra seca} &= (C.H.Pd.-Abs.Pd)/100= & F_{cp} &= -0.00755 \\ \text{corrección de agua total} &= F_{ca} \cdot \text{peso de arena seca} + F_{cp} \cdot \text{peso de piedra seca} \\ \text{Agua corregida(húmeda)} &= \text{agua de diseño seco} - \text{corrección de agua total.} \end{aligned}$$

Cuadro 7.3.1.1.1.- Diseño 0.4% de aditivo, cemento tipo I.

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	MATERIAL (Tanda Real Aprox. de 40. kg)	DISEÑO SECO				DISEÑO HUMEDO			
			PESO SECO DE TANDA DE ENSAYO	VOLUMEN PROBABLE POR TANDA SECA m ³	VOLUMEN PROBABLE X UN m ³	PESO SECO PROBABLE	PESO HUMEDO	DISEÑO UNITARIO	TANDA DE PRUEBA REAL 40 kg	
a/c=	0.45	kg	kg	kg	m ³	kg	kg		kg	
%Arena=	53	Cemento	9.39	9.386	0.00301	0.1784	556.497	556.497	1	9.578
Agua(lt)=	239	Agua	3.59	3.384	0.00338	0.2006	200.621	212.884	0.3825438	3.664
%Aditivo=	0.4	Arena	13.87	13.831	0.00545	0.3232	820.027	822.355	1.4777358	14.154
		Piedra	12.31	12.265	0.00455	0.2696	727.193	729.993	1.3117648	12.564
		Aire	0.0006	0.001	0.00044	0.0262	0.034	0.03405	6.119E-05	0.001
		Aditivo	0.0375	0.0375	0.00003	0.0020	2.226	2.226	0.004	0.0383
		total	39.20	VT	0.0169	1	PESO Unit.=	2324.0		40.000

$$\begin{aligned} \text{RELACION FINAL DE AGUA/CEMENTO} &= & & 0.36 \\ \text{RELACION FINAL DE LIQUIDO/CEMENTO} &= & & 0.36 \\ \text{AGUA DE DISEÑO INICIAL(SECO)} & A_i &= & 239 \text{ lt} \\ \text{AGUA UTILIZADA (DISEÑO SECO)} & A_f &= & 200.62 \text{ lt} \\ \text{REDUCCION DE AGUA} & A_i - A_f &= & 38.38 \text{ lt} \\ \text{ADITIVO AÑADIDO} & A_d &= & 2.226 \text{ lt} \\ \text{PORCENTAJE DE REDUCCION DE AGUA} & \frac{A_i - A_f}{A_i} \cdot 100 &= & 16.06 \% \\ \text{REDUCCION DE VOLUMEN DE CONCRETO RESULTANTE:} & &= & 4.56 \% \\ \text{ASENTAMIENTO:} & & & 3'' \end{aligned}$$

7.3.1.2. DISEÑO 0.8% DE ADITIVO, CEMENTO TIPO I.

Corrección de pesos de agregados por humedad natural:

peso de arena húmeda/peso de arena seca = $(1+C.H.Ar./100)=$ $fa= 1.00284$

peso de piedra húmeda/peso de piedra seca = $(1+C.H.Pd./100)=$ $fp= 1.00385$

corrección de la cantidad de agua de mezclado por Humedad y Absorción de los agregados:

correc. Por arena/peso de arena seca = $(C.H.Ar.-Abs.Ar)/100=$ $Fca.= -0.00826$

correc. Por piedra/peso de piedra seca = $(C.H.Pd.-Abs.Pd)/100=$ $Fcp.= -0.00755$

corrección de agua total = $Fca.*\text{peso de arena seca} + Fcp.*\text{peso de piedra seca}$

Agua corregida(húmeda) = agua de diseño seco - corrección de agua total.

Cuadro 7.3.1.2.1.- Diseño 0.8% de aditivo, cemento tipo I.

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	MATERIA L (Tanda Real Aprox. de 40. kg)	DISEÑO SECO				DISEÑO HUMEDO			
			PESO SECO DE TANDA DE ENSAYO	VOLUMEN PROBABLE POR TANDA SECA m ³	VOLUMEN PROBABLE X UN m ³	PESO SECO PROBABLE	PESO HUMEDO	DISEÑO UNITARIO	TANDA DE PRUEBA REAL 40 kg	
		kg	kg	kg	m ³	kg	kg		kg	
a/c= 0.45	53	Cemento	9.39	9.386	0.00301	0.184	573.504	573.50	1	9.701
%Arena =	239	Agua	3.06	2.850	0.00285	0.174	174.124	186.76	0.326	3.159
Agua(lt) =	0.8	Arena	13.87	13.831	0.00545	0.333	845.088	847.49	1.478	14.336
%Aditivo =		Piedra	12.31	12.265	0.00455	0.278	749.417	752.30	1.312	12.726
		Aire	0.0006	0.001	0.00044	0.027	0.035	0.04	6.119E-05	0.001
		Aditivo	0.0751	0.0751	0.00007	0.004	4.588	4.59	0.008	0.0776
		Total	38.70	VT	0.0164	1	PESO Unit.=	2364.7		40.000

RELACION FINAL DE AGUA/CEMENTO-	0.30
RELACION FINAL DE LIQUIDO/CEMENTO=	0.31
AGUA DE DISEÑO INICIAL(SECO)	Ai= 239 lt
AGUA UTILIZADA (DISEÑO SECO)	Af= 174.12 lt
REDUCCIÓN DE AGUA	Ai-Af= 64.88 lt
ADITIVO AÑADIDO	Ad= 4.588 lt
	(Ai-Af)/Ai*100
PORCENTAJE DE REDUCION DE AGUA	= 27.14 %
REDUCCIÓN DE VOLUMEN DE CONCRETO RESULTANTE:	7.39 %

ASENTAMIENTO: 4"

7.3.1.3. DISEÑO 1.2% DE ADITIVO, CEMENTO TIPO I.

Corrección de pesos de agregados por humedad natural:

peso de arena húmeda/peso de arena seca = $(1+C.H.Ar./100)=$ $f_a= 1.00284$

peso de piedra húmeda/peso de piedra seca = $(1+C.H.Pd./100)=$ $f_p= 1.00385$

corrección de la cantidad de agua de mezclado por Humedad y Absorción de los agregados:

correc. Por arena/peso de arena seca = $(C.H.Ar-Abs.Ar)/100=$ $F_{ca}= -0.00826$

correc. Por piedra/peso de piedra seca = $(C.H.Pd.-Abs.Pd)/100=$ $F_{cp}= -0.00755$

corrección de agua total = $F_{ca} \cdot \text{peso de arena seca} + F_{cp} \cdot \text{peso de piedra seca}$

Agua corregida(húmeda) = agua de diseño seco - corrección de agua total.

Cuadro 7.3.1.3.1.- Diseño 1.2% de aditivo, cemento tipo I.

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	MATERIA L (Tanda Real Aprox. de 40. kg)	DISEÑO SECO				DISEÑO HUMEDO			
			PESO SECO DE TANDA DE ENSAYO	VOLUMEN PROBABLE POR TANDA SECA m ³	VOLUMEN PROBABLE X UN m ³	PESO SECO PROBABLE	PESO HUMEDO	DISEÑO UNITARIO	TANDA DE PRUEBA REAL 40 kg	
		kg	kg	kg	m ³	kg	kg		kg	
a/c= 0.45	53	Cemento	9.39	9.386	0.00301	0.186	579.244	579.24	1	9.741
%Arena =	239	Agua	2.86	2.654	0.00265	0.164	163.771	176.54	0.305	2.969
Agua(lt) =	1.2	Arena	13.87	13.831	0.00545	0.336	853.546	855.97	1.478	14.395
%Aditivo =		Piedra	12.31	12.265	0.00455	0.281	756.918	759.83	1.312	12.778
		Aire	0.0006	0.001	0.00044	0.027	0.035	0.04	6.119E-05	0.001
		Aditivo	0.1126	0.1126	0.00010	0.006	6.951	6.95	0.012	0.1169
		total	38.54	VT	0.0162	1	PESO Unit.=	2378.6		40.000

RELACION FINAL DE AGUA/CEMENTO=	0.28
RELACION FINAL DE LIQUIDO/CEMENTO=	0.29
AGUA DE DISEÑO INICIAL(SECO)	Ai= 239 lt
AGUA UTILIZADA (DISEÑO SECO)	Af= 163.77 lt
REDUCCION DE AGUA	Ai-Af= 75.23 lt
ADITIVO AÑADIDO	Ad= 6.951 lt
PORCENTAJE DE REDUCCION DE AGUA	(Ai-Af)/Ai*100 = 31.48 %
REDUCCION DE VOLUMEN DE CONCRETO RESULTANTE:	8.31 %

ASENTAMIENTO: 6"

7.3.2. PROPORCION DEL CONCRETO CON CEMENTO TIPO V CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE SIKA VISCOCRETE 3.

7.3.2.1. DISEÑO 0.4% DE ADITIVO, CEMENTO TIPO V.

Corrección de pesos de agregados por humedad natural:

peso de arena húmeda/peso de arena seca = $(1+C.H.Ar./100)=$ fa= 1.00284

peso de piedra húmeda/peso de piedra seca= $(1+C.H.Pd./100)=$ fp= 1.00385

corrección de la cantidad de agua de mezclado por Humedad y Absorción de los agregados:

correc. Por arena/peso de arena seca = $(C.H.Ar.-Abs.Ar)/100=$ Fca.= -0.00826

correc. Por piedra/peso de piedra seca= $(C.H.Pd.-Abs.Pd)/100=$ Fcp.= -0.00755

corrección de agua total = $Fca.*peso de arena seca + Fcp.*peso de piedra seca$

Agua corregida(húmeda) = agua de diseño seco - corrección de agua total.

Cuadro 7.3.2.1.1.- Diseño 0.4% de aditivo, cemento tipo V.

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIA L	MATERIAL (Tanda Real Aprox. de 40. kg)	DISEÑO SECO				DISEÑO HUMEDO			
			PESO SECO DE TANDA DE ENSAYO	VOLUMEN PROBABLE POR TANDA SECA m ³	VOLUMEN PROBABLE X UN m ³	PESO SECO PROBABLE	PESO HUMEDO	DISEÑO UNITARIO	TANDA DE PRUEBA REAL 40 kg	
a/c=	0.4	kg	kg	kg	m ³	kg	kg		kg	
%Arena=	53	Cemento	8.32	8.315	0.00264	0.157	493.370	493.37	1	8.430
Agua(lt)=	215	Agua	3.38	3.162	0.00316	0.188	187.603	200.60	0.407	3.428
%Aditivo=	0.4	Arena	14.69	14.645	0.00577	0.342	868.944	871.41	1.766	14.890
		Piedra	13.04	12.987	0.00481	0.286	770.573	773.54	1.568	13.218
		Aire	0.0006	0.001	0.00044	0.026	0.034	0.03	6.802E-05	0.001
		Aditivo	0.0333	0.0333	0.00003	0.002	1.973	1.97	0.004	0.0337
		total	39.45	VT	0.0169	1	PESO Unit.=	2340.9		40.000

RELACION FINAL DE AGUA/CEMENTO=		0.38
RELACION FINAL DE LIQUIDO / CEMENTO =		0.38
AGUA DE DISEÑO INICIAL(SECO)	Ai=	215 lt
AGUA UTILIZADA (DISEÑO SECO)	Af=	187.60 lt
REDUCCION DE AGUA	Ai-Af=	27.40 lt
ADITIVO AÑADIDO	Ad=	1.973 lt
	(Ai-Af)/Ai* 100	
PORCENTAJE DE REDUCCION DE AGUA	=	12.74 %
REDUCCION DE VOLUMEN DE CONCRETO RESULTANTE:		3.16 %

ASENTAMIENTO: 3 ¾"

7.3.2.2. DISEÑO 0.8% DE ADITIVO, CEMENTO TIPO V.

Corrección de pesos de agregados por humedad natural:

peso de arena húmeda/peso de arena seca = $(1+C.H.Ar./100)=$ $fa= 1.00284$

peso de piedra húmeda/peso de piedra seca = $(1+C.H.Pd./100)=$ $fp= 1.00385$

corrección de la cantidad de agua de mezclado por Humedad y Absorción de los agregados:

correc. Por arena/peso de arena seca = $(C.H.Ar.-Abs.Ar)/100=$ $Fca.= -0.00826$

correc. Por piedra/peso de piedra seca = $(C.H.Pd.-Abs.Pd)/100=$ $Fcp.= -0.00755$

corrección de agua total = $Fca.*\text{peso de arena seca} + Fcp.*\text{peso de piedra seca}$

Agua corregida(húmeda) = $\text{agua de diseño seco} - \text{corrección de agua total.}$

Cuadro 7.3.2.2.1.- Diseño 0.8% de aditivo, cemento tipo V.

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIA L	MATERIAL (Tanda Real Aprox. de 40. kg)	DISEÑO SECO				DISEÑO HUMEDO			
			PESO SECO DE TANDA DE ENSAYO	VOLUMEN PROBABLE POR TANDA SECA m ³	VOLUMEN PROBABLE X UN m ³	PESO SECO PROBABLE	PESO HUMEDO	DISEÑO UNITARIO	TANDA DE PRUEBA REAL 40 kg	
a/c=	0.45	kg	kg	kg	m ³	kg	kg		kg	
%Arena=	53	Cemento	8.32	8.315	0.00264	0.163	512.530	512.53	1	8.566
Agua(lt)=	215	Agua	2.72	2.502	0.00250	0.154	154.207	167.71	0.327	2.803
%Aditivo=	0.8	Arena	14.69	14.645	0.00577	0.356	902.688	905.25	1.766	15.130
		Piedra	13.04	12.987	0.00481	0.297	800.497	803.58	1.568	13.431
		Aire	0.0006	0.001	0.00044	0.027	0.035	0.03	6.802E-05	0.001
		Aditivo	0.0665	0.0665	0.00006	0.004	4.100	4.10	0.008	0.0685
		Total	38.83	VT	0.0162	1	PESO Unit.=	2393.2		40.000

RELACION FINAL DE AGUA/CEMENTO=	0.30
RELACION FINAL DE LIQUIDO/CEMENTO=	0.31
AGUA DE DISEÑO INICIAL(SECO)	Ai= 215 lt
AGUA UTILIZADA (DISEÑO SECO)	Af= 154.21 lt
REDUCCION DE AGUA	Ai-Af= 60.79 lt
ADITIVO AÑADIDO	Ad= 4.100 lt
PORCENTAJE DE REDUCCION DE AGUA	$(Ai-Af)/Ai*100 = 28.28 \%$
REDUCCION DE VOLUMEN DE CONCRETO RESULTANTE:	6.78 %

ASENTAMIENTO: 4"

7.3.2.3. DISEÑO 1.2% DE ADITIVO, CEMENTO TIPO V.

Corrección de pesos de agregados por humedad natural:

peso de arena húmeda/peso de arena seca = $(1+C.H.Ar./100)=$ fa= 1.00284

peso de piedra húmeda/peso de piedra seca= $(1+C.H.Pd./100)=$ fp= 1.00385

corrección de la cantidad de agua de mezclado por Humedad y Absorción de los agregados:

correc. Por arena/peso de arena seca = $(C.H.Ar.-Abs.Ar)/100=$ Fca.= -0.00826

correc. Por piedra/peso de piedra seca= $(C.H.Pd.-Abs.Pd)/100=$ Fcp.= -0.00755

corrección de agua total = $Fca.*\text{peso de arena seca} + Fcp.*\text{peso de piedra seca}$

Agua corregida(húmeda) = agua de diseño seco - corrección de agua total.

Cuadro 7.3.2.3.1.- Diseño 1.2% de aditivo, cemento tipo V.

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIA L (Tanda Real Aprox. de 40. kg)	DISEÑO SECO				DISEÑO HUMEDO			
		PESO SECO DE TANDA DE ENSAYO	VOLUMEN PROBABLE POR TANDA SECA m ³	VOLUMEN PROBABLE X UN m ³	PESO SECO PROBABLE	PESO HUMEDO	DISEÑO UNITARIO	TANDA DE PRUEBA REAL 40 kg	
a/c= 0.45	kg	kg	kg	m ³	kg	kg		kg	
%Arena = 53	Cemento	8.32	8.315	0.00264	0.165	518.282	518.28	1	8.606
Agua(t) = 215	Agua	2.51	2.292	0.00229	0.143	142.848	156.50	0.302	2.599
%Aditivo = 1.2	Arena	14.69	14.645	0.00577	0.380	912.818	915.41	1.766	15.200
	Piedra	13.04	12.987	0.00481	0.300	809.480	812.60	1.568	13.492
	Aire	0.0006	0.001	0.00044	0.027	0.035	0.04	6.802E-05	0.001
	Aditivo	0.0998	0.0998	0.00009	0.006	6.219	6.22	0.012	0.1033
	Total	38.65	VT	0.0160	1	PESO Unit.=	2409.0		40.000

RELACION FINAL DE AGUA/CEMENTO=	0.28
RELACION FINAL DE LIQUIDO/CEMENTO=	0.29
AGUA DE DISEÑO INICIAL(SECO)	Ai= 215 Lt
	142.8
AGUA UTILIZADA (DISEÑO SECO)	Af= 5 Lt
REDUCCION DE AGUA	Ai-Af= 72.15 Lt
ADITIVO AÑADIDO	Ad= 6.219 Lt
PORCENTAJE DE REDUCCION DE AGUA	(Ai-Af)/Ai*100= 33.56 %
REDUCCION DE VOLUMEN DE CONCRETO RESULTANTE:	7.82 %

ASENTAMIENTO: 6"

7.3.3. PROPORCION DEL CONCRETO CON CEMENTO TIPO IP CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE SIKA VISCOCRETE 3.

7.3.3.1. DISEÑO 0.4% DE ADITIVO, CEMENTO TIPO IP.

Corrección de pesos de agregados por humedad natural:

peso de arena húmeda/peso de arena seca = $(1+C.H.Ar./100)=$ fa= 1.00284

peso de piedra húmeda/peso de piedra seca = $(1+C.H.Pd./100)=$ fp= 1.00385

corrección de la cantidad de agua de mezclado por Humedad y Absorción de los agregados:

correc. Por arena/peso de arena seca = $(C.H.Ar-Abs.Ar)/100=$ Fca.= -0.00826

correc. Por piedra/peso de piedra seca = $(C.H.Pd.-Abs.Pd)/100=$ Fcp.= -0.00755

corrección de agua total = $Fca.*\text{peso de arena seca} + Fcp.*\text{peso de piedra seca}$

Agua corregida(húmeda) = agua de diseño seco - corrección de agua total.

Cuadro 7.3.3.1.1.- Diseño 0.4% de aditivo, cemento tipo IP.

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	MATERIAL (Tanda Real Aprox. de 40. kg)	DISEÑO SECO				DISEÑO HUMEDO			
			PESO SECO DE TANDA DE ENSAYO	VOLUMEN PROBABLE POR TANDA SECA m ³	VOLUMEN PROBABLE X UN m ³	PESO SECO PROBABLE	PESO HUMEDO	DISEÑO UNITARIO	TANDA DE PRUEBA REAL 40 kg	
a/c=	0.45	kg	kg	kg	m ³	kg	kg		kg	
%Arena=	53	Cemento	10.16	10.157	0.00333	0.191	584.047	584.05	1	10.293
Agua(f)=	255	Agua	4.20	4.001	0.00400	0.230	230.045	241.44	0.413	4.255
%Aditivo=	0.4	Arena	13.28	13.245	0.00522	0.300	761.622	763.78	1.308	13.461
		Piedra	11.79	11.746	0.00435	0.250	675.400	678.00	1.161	11.949
		Aire	0.0006	0.001	0.00045	0.026	0.033	0.03	5.735E-05	0.001
		Aditivo	0.0406	0.0406	0.00004	0.002	2.336	2.34	0.004	0.0412
		total	39.47	VT	0.0174	1	PESO Unit.=	2269.6		40.000

RELACION FINAL DE AGUA/CEMENTO=	0.39
RELACION FINAL DE LIQUIDO/CEMENTO=	0.40
AGUA DE DISEÑO INICIAL(SECO)	Ai= 255 Lt
AGUA UTILIZADA (DISEÑO SECO)	Af= 230.05 Lt
REDUCCION DE AGUA	Ai-Af= 24.95 Lt
ADITIVO AÑADIDO	Ad= 2.336 Lt
PORCENTAJE DE REDUCCION DE AGUA	(Ai-Af)/Ai*100= 9.79 %
REDUCCION DE VOLUMEN DE CONCRETO RESULTANTE:	2.98 %

ASENTAMIENTO: 3 ¾"

7.3.3.2. DISEÑO 0.8% DE ADITIVO, CEMENTO TIPO IP.

Corrección de pesos de agregados por humedad natural:

peso de arena húmeda/peso de arena seca = $(1+C.H.Ar./100)=$ fa= 1.00284

peso de piedra húmeda/peso de piedra seca = $(1+C.H.Pd./100)=$ fp= 1.00385

corrección de la cantidad de agua de mezclado por Humedad y Absorción de los agregados:

correc. Por arena/peso de arena seca = $(C.H.Ar.-Abs.Ar)/100=$ Fca.= -0.00826

correc. Por piedra/peso de piedra seca = $(C.H.Pd.-Abs.Pd)/100=$ Fcp.= -0.00755

corrección de agua total = $Fca.*\text{peso de arena seca} + Fcp.*\text{peso de piedra seca}$

Agua corregida(húmeda) = agua de diseño seco - corrección de agua total.

Cuadro 7.3.3.2.1.- Diseño 0.8% de aditivo, cemento tipo IP.

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	MATERIA L (Tanda Real Aprox. de 40. kg)	DISEÑO SECO				DISEÑO HUMEDO			
			PESO SECO DE TANDA DE ENSAYO	VOLUMEN PROBABLE POR TANDA SECA m ³	VOLUMEN PROBABLE X UN m ³	PESO SECO PROBABLE	PESO HUMEDO	DISEÑO UNITARIO	TANDA DE PRUEBA REAL 40 kg	
a/c=	0.45	kg	kg	kg	m ³	kg	kg		kg	
%Arena=	53	Cemento	10.16	10.157	0.00333	0.197	601.101	601.10	1	10.422
Agua(lt)=	255	Agua	3.67	3.471	0.00347	0.205	205.396	217.12	0.361	3.765
%Aditivo=	0.8	Arena	13.28	13.245	0.00522	0.309	783.861	786.09	1.308	13.630
		Piedra	11.79	11.746	0.00435	0.258	695.122	697.80	1.161	12.099
		Aire	0.0006	0.001	0.00045	0.027	0.034	0.03	5.735E-05	0.001
		Aditivo	0.0813	0.0813	0.00007	0.004	4.809	4.81	0.008	0.0834
		total	38.98	VT	0.0169	1	PESO Unit. =	2306.9		40.000

RELACION FINAL DE AGUA/CEMENTO=	0.34
RELACION FINAL DE LIQUIDO/CEMENTO=	0.35
AGUA DE DISEÑO INICIAL(SECO)	Ai= 255 Lt
AGUA UTILIZADA (DISEÑO SECO)	Af= 205.40 Lt
REDUCCION DE AGUA	Ai-Af= 49.60 Lt
ADITIVO AÑADIDO	Ad= 4.809 Lt
PORCENTAJE DE REDUCCION DE AGUA	(Ai-Af)/Ai*100 = 19.45 %
REDUCCION DE VOLUMEN DE CONCRETO RESULTANTE:	5.73 %

ASENTAMIENTO: 3 ¾"

7.3.3.3. DISEÑO 1.2% DE ADITIVO, CEMENTO TIPO IP.

Corrección de pesos de agregados por humedad natural:

peso de arena húmeda/peso de arena seca = $(1+C.H.Ar./100)=$ fa= 1.00284

peso de piedra húmeda/peso de piedra seca= $(1+C.H.Pd./100)=$ fp= 1.00385

corrección de la cantidad de agua de mezclado por Humedad y Absorción de los agregados:

correc. Por arena/peso de arena seca = $(C.H.Ar-Abs.Ar)/100=$ Fca.= -0.00826

correc. Por piedra/peso de piedra seca= $(C.H.Pd.-Abs.Pd)/100=$ Fcp.= -0.00755

corrección de agua total = $Fca.*\text{peso de arena seca} + Fcp.*\text{peso de piedra seca}$

Agua corregida(húmeda) = agua de diseño seco - corrección de agua total.

Cuadro 7.3.3.3.1.- Diseño 1.2% de aditivo, cemento tipo IP.

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	MATERIAL (Tanda Real Aprox. de 40. kg)	DISEÑO SECO				DISEÑO HUMEDO			
			PESO SECO DE TANDA DE ENSAYO	VOLUMEN PROBABLE POR TANDA SECA m ³	VOLUMEN PROBABLE X UN m ³	PESO SECO PROBABLE	PESO HUMEDO	DISEÑO UNITARIO	TANDA DE PRUEBA REAL 40 kg	
a/c=	0.45	kg	kg	kg	m ³	kg	kg		kg	
%Arena=	53	Cemento	10.16	10.157	0.00333	0.201	614.313	614.31	1	10.519
Agua(lt)=	255	Agua	3.27	3.071	0.00307	0.186	185.718	197.70	0.322	3.385
%Aditivo=	1.2	Arena	13.28	13.245	0.00522	0.316	801.089	803.36	1.308	13.757
		Piedra	11.79	11.746	0.00435	0.263	710.400	713.14	1.161	12.212
		Aire	0.0006	0.001	0.00045	0.027	0.035	0.04	5.735E-05	0.001
		Aditivo	0.1219	0.1219	0.00011	0.007	7.372	7.37	0.012	0.1262
		total	38.62	VT	0.0165	1	PESO Unit.=	2335.9		40.000

RELACION FINAL DE AGUA/CEMENTO=		0.30
RELACION FINAL DE LIQUIDO/CEMENTO=		0.31
AGUA DE DISEÑO INICIAL(SECO)	Ai=	255 Lt
AGUA UTILIZADA (DISEÑO SECO)	Af=	185.72 Lt
REDUCCION DE AGUA	Ai-Af=	69.28 lt
ADITIVO AÑADIDO	Ad=	7.372 lt
	(Ai-Af)/Ai*100	
PORCENTAJE DE REDUCCION DE AGUA	=	27.17 %
REDUCCION DE VOLUMEN DE CONCRETO RESULTANTE:		7.76 %

ASENTAMIENTO: 6"

Cuadro 7.1.- Propiedades del concreto en el diseño de mezclas de concreto. a/c = 0.45; cemento tipo I, V y IP; aditivo Sika viscocrete-3

TIPO DE CEMENTO	Diseño	Reducción de agua (%)	a/c final	Asentamiento (pulg)
I	Patron=p	0	0.45	3 3/4
	P+0.4% aditivo	16.06	0.36	3
	P+0.8% aditivo	27.14	0.3	4
	P+1.2% aditivo	31.48	0.28	6
V	Patron=p	0	0.45	3 3/4
	P+0.4% aditivo	12.74	0.38	3 3/4
	P+0.8% aditivo	28.28	0.3	4
	P+1.2% aditivo	33.56	0.28	6
IP	Patron=p	0	0.45	3 1/2
	P+0.4% aditivo	9.79	0.39	3 3/4
	P+0.8% aditivo	19.45	0.34	3 3/4
	P+1.2% aditivo	27.17	0.3	6

Gráfico 7.1.- Porcentaje de reducción de agua vs diseño del concreto

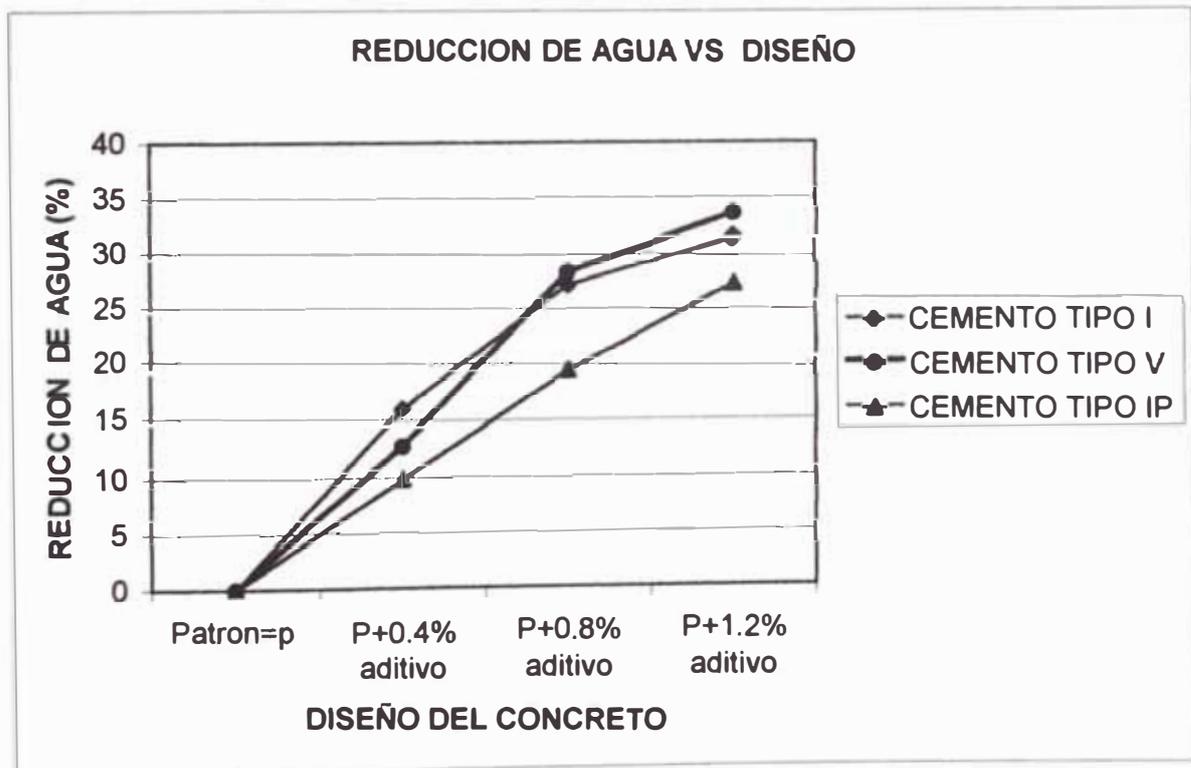
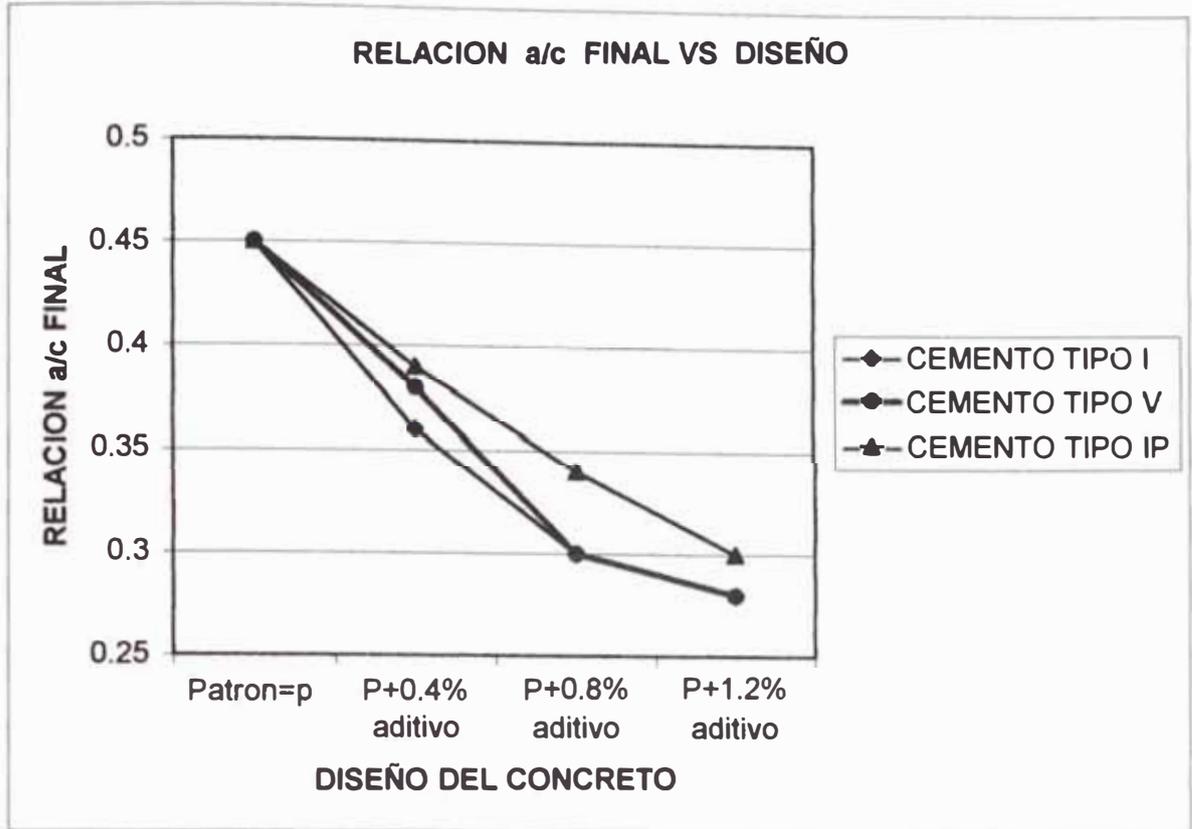


Grafico 7.2.- Relación de agua final vs diseño de concreto



CAPITULO VIII

ENSAYOS Y PROPIEDADES DEL CONCRETO

8.1. GENERALIDADES

Para poder estudiar el cambio de las propiedades del concreto, es necesario realizar una serie de ensayos. Los cuales determinarán la calidad, trabajabilidad, facilidad de transporte y colocación de éste. Los ensayos indicarán las propiedades del concreto en estado fresco, los cuales servirán como elementos de juicio para las apreciaciones que se hagan.

Para la preparación del diseño de la mezcla han de tenerse en cuenta las siguientes reglas prácticas:

- Limpiar y humedecer la mezcladora de concreto.
- Humedecer los implementos a utilizar (carretilla, badilejo, plancha, etc.); cuidando de que dicha humedad no perjudique a la mezcla incrementándole agua al diseño.
- Introducir los ingredientes del concreto según el siguiente orden: piedra, arena, cemento y agua, teniendo la precaución de no agregarle esta última en su totalidad, pues ha de írsele agregando conforme se va mezclando el concreto.
- Remezclar el concreto una vez que este se ha depositado en la carretilla, para evitar su segregación.

En lo referente al concreto en estado endurecido se efectuarán ensayos para encontrar sus resistencias mecánicas tales como ensayo de resistencia a la compresión, ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral.

En la presente investigación se hicieron los ensayos para concretos en estado fresco y estado endurecido con cementos de tipo I, V y IP, para concretos sin aditivo (Patrón) y concretos con aditivo de dosificación : 0.4%, 0.8% y 1.2% del peso del cemento.

8.2. ENSAYOS DEL CONCRETO EN EL ESTADO FRESCO.

8.2.1 PESO UNITARIO NTP 339.046

Es común determinar el peso unitario del concreto fresco compactado al medir la manejabilidad o el contenido de aire. El peso unitario se obtiene fácilmente al pesar el concreto fresco compactado en un contenedor estandarizado, de volumen y masa conocidos; en la norma NTP 339.046 (ASTM C 138) se describe los procedimientos. Si se conoce el peso unitario ρ , el volumen del concreto puede determinarse a partir de la masa de los ingredientes. Cuando estos se expresan en cantidades por lote puestos en la mezcladora, podemos calcular la producción de concreto por lote.

Si las masa por lote de agua, cemento, agregado fino y agregado grueso son respectivamente, W, C, Af y Ac, el volumen del concreto compactado obtenido (producido) por lote será:

$$V = (C + Af + Ac + W) / \rho$$

Y el contenido de cemento (es decir, masa de cemento por unidad de volumen del concreto) será:

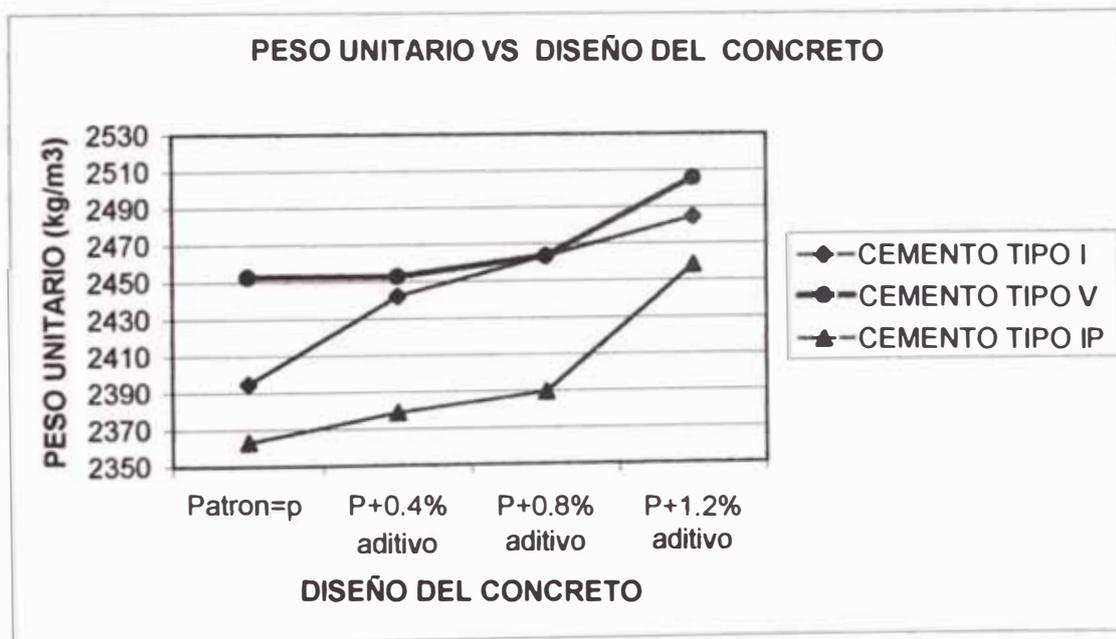
$$C/V = \rho - (Af + Ac + W) / \rho$$

En la presente investigación se hicieron los ensayos de peso unitario para concretos con cemento tipo I, V y IP para concretos sin aditivo (Patrón) y concretos con aditivo de 0.4%, 0.8% y 1.2% del peso del cemento, en los resultados se puede observar que a mayor porcentaje de aditivo el peso unitario se va incrementando.

CUADRO 8.2.1.1.- Ensayo: peso unitario del concreto NTP 339.049

MEZCLA		PESO DEL BALDE+MEZCLA (kg)	PESO DEL BALDE (kg)	PESO DE LA MEZCLA (kg)	PESO UNITARIO (kg/m ³)
TIPO DE CEMENTO	DISEÑO				
TIPO I	Patrón	29.55	6.947	22.60	2394.65
	con 0.4% de Ad.	30.00	6.947	23.05	2442.33
	con 0.8% de Ad.	30.20	6.947	23.25	2463.52
	con 1.2% de Ad.	30.40	6.947	23.45	2484.70
TIPO V	Patrón	30.10	6.947	23.15	2452.92
	con 0.4% de Ad.	30.10	6.947	23.15	2452.92
	con 0.8% de Ad.	30.20	6.947	23.25	2463.52
	con 1.2% de Ad.	30.60	6.947	23.65	2505.89
TIPO IP	Patrón	29.25	6.947	22.30	2362.87
	con 0.4% de Ad.	29.40	6.947	22.45	2378.76
	con 0.8% de Ad.	29.50	6.947	22.55	2389.36
	con 1.2% de Ad.	30.15	6.947	23.20	2458.22
VOLUMEN DEL BALDE=1/3pie ³ =		0.009438949m ³			

Grafico 8.2.1.1.- Peso unitario vs diseño del concreto; cementos tipo I, V y IP



8.2.2. CONSISTENCIA (ASENTAMIENTO) NTP 339.035

La norma NTP 339.035 (ASTM C 143-78) prescribe el procedimiento para esta prueba. El molde para la prueba de revenimiento es un cono truncado de 305mm de altura. La base, de 203mm se coloca sobre una superficie plana, con la abertura mas pequeña de un diámetro de 102 mm, hacia arriba. El recipiente se llena de concreto en tres capas, compactando cada una con 25 golpes con una varilla lisa de acero estándar de 16 mm de diámetro, redondeada en el extremo. En la superficie superior se elimina lo que sobra haciendo rodar la varilla por encima. el molde debe quedar firmemente sujeto a la base durante toda la operación; esto se facilita colocando unas abrazaderas soldadas.

Inmediatamente después del llenado se levanta el cono con suavidad y el concreto se desploma, de ahí el molde de la prueba. La disminución en altura del centro del concreto desplomado se denomina revenimiento o asentamiento, y se mide hasta lo mas cercano a 5mm (1/4 in). Para reducir la influencia de la variación en la fricción superficial, el interior del molde y su base deben estar húmedos al comienzo de cada prueba y, antes de levantar el molde, el área que le rodea debe estar limpia, sin el concreto que puede haber caído accidentalmente.

Si en vez de desplomarse uniformemente en todo el derredor, como en un verdadero desplome, la mitad del cono se desliza en un plano inclinado, se dice que ocurre un revenimiento cortante y la prueba debe repetirse. Si persiste el revenimiento cortante, como puede ser el caso con mezclas asperas, sera una señal de falta de cohesión de la mezcla.

Las mezclas de consistencia rigida tienen un revenimiento cero, asi que en el rango de secos no puede detectarse ninguna variación entre mezclas de manejabilidad distintas. Este problema no existe en mezclas ricas, en las que el revenimiento es sensible a las variaciones de manejabilidad. Sin embargo, en una mezcla pobre de con tendencia a la aspereza, el desplome puede obtenerse valores muy diferentes de revenimiento en varias muestras de la misma mezcla; por lo tanto, la prueba no es confiable con mezclas pobres.

En el cuadro siguiente se muestra el orden de magnitud del revenimiento para diferentes manejabilidades. Debe recordarse que con diferentes agregados se puede registrar el mismo revenimiento para diferentes manejabilidades;

además, el revenimiento no guarda una relación única con la manejabilidad, como se ha dicho anteriormente.

A pesar de estas limitantes, la prueba de revenimiento es muy útil en el lugar de trabajo, para una medición de las variaciones de un día a otro o de una hora a otra, en los materiales que se mezclan. Por ejemplo , un incremento en el revenimiento puede significar que el contenido de humedad del agregado aumento inesparedamente; otra causa seria un cambio en la gradación del agregado, tal como una deficiencia en la arena. Un revenimiento demasiado alto o de demasiado bajo es un aviso inmediato que permite al operador de la mezcladora hacer correcciones. Esta aplicación de la prueba, así como su sencillez, son las razones para su tan difundido uso.

Cuadro 8.2.2.1.-Trabajabilidad y revenimiento de concretos con tamaño máximo de agregado entre ¾” a 1 ½”

Grado de trabajabilidad	Revenimiento		Uso conveniente del concreto
	mm	in	
Muy baja	0-25	0-1	En caminos vibrados por maquinas de poder. En el final mas trabajable de este grupo, el concreto se puede compactarse en ciertos con maquinas manuales.
Baja	25-50	1-2	En caminos vibrados con máquinas manuales. en el final mas trabajable de este grupo, el concreto se puede compactar manualmente en caminos usando agregado de forma redonda o irregular. Cimentaciones de concreto en masa sin vibración o secciones reforzadas ligeramente con vibración.
Media	50-100	2-4	En el final menos trabajable de este grupo, se encuentran las losas planas compactadas manualmente que usan agregados triturados . concreto reforzado normal, compactado manualmente y secciones muy reforzadas con vibración.
Alta	100-175	4-7	Para secciones con refuerzo aglomerado. Normalmente no es adecuado para ser vibrado.

Cuadro 8.2.2.2.- Ensayo de consistencia(asentamiento) NTP 339.035

MEZCLA		ASENTAMIENTO	OBSERVACIÓN
TIPO DE CEMENTO	DISEÑO		
TIPO I	Patron	3 3/4"	Concreto fluido
	con 0.4% de Ad.	3 1/2"	
	con 0.8% de Ad.	3 3/4"	
	con 1.2% de Ad.	6"	
TIPO V	Patron	3 1/2"	Concreto fluido
	con 0.4% de Ad.	3 3/4"	
	con 0.8% de Ad.	4"	
	con 1.2% de Ad.	6"	
TIPO IP	Patron	3 3/4"	Concreto fluido
	con 0.4% de Ad.	3 1/2"	
	con 0.8% de Ad.	3 3/4"	
	con 1.2% de Ad.	6"	

8.2.3 TIEMPO DE FRAGUADO (NTP 339.082).

Las reacciones entre el cemento y el agua son la causa principal del fraguado del concreto aunque por varias razones, el tiempo de fraguado del concreto no coincide con el tiempo de fraguado del cemento con el que ha sido elaborado.

Los fenómenos de rigidización, fraguado y endurecimiento son manifestaciones físicas de las reacciones progresivas de hidratación del cemento. Además, los tiempos inicial y final del fraguado del cemento son los puntos definidos arbitrariamente por el método de prueba, que determinan el inicio de la solidificación de la pasta de cemento fresco.

Igualmente, el fraguado del concreto es definido como el inicio de la solidificación de una mezcla de concreto fresco. Tanto el tiempo inicial como el final de fraguado del concreto, son definidos arbitrariamente por un método de prueba como es el método de resistencia a la penetración.

El tiempo inicial de fraguado y el tiempo final de fraguado, medidos por los métodos de resistencia a la penetración, no hacen una distinción específica entre las características físico-químicas de la pasta de cemento; son solamente puntos funcionales en el sentido de que el primero define el límite del manejo y el segundo define el comienzo del desarrollo de la resistencia mecánica. el

fraguado inicial y el fraguado final del concreto medidos por el método ASTM C 403, no tienen que coincidir exactamente con los periodos que marcan el final o la pérdida completa de trabajabilidad y el inicio de la resistencia mecánica.

En lugar de ello, el fraguado inicial representa aproximadamente el tiempo en el concreto fresco no puede ya ser mezclado adecuadamente, colocado y compactado; el fraguado final representa aproximadamente el tiempo después del cual la resistencia comienza a desarrollarse a una velocidad significativa.

Obviamente, un conocimiento de los cambios en las características del concreto como se definen por los tiempos de fraguado inicial y final, puede ser de valor considerable en la programación de las operaciones en la construcción con concreto.

Los datos de la prueba pueden ser también útiles al comparar la efectividad relativa de varios aditivos para controlar el fraguado.

Cuadro 8.2.3.1.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo I, diseño patrón

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA CEMENTO TIPO I a/c = 0.45 - PATRON									
Hora de inicio: 09:20									
DIAM. AGUJA (pulg)	AREA (pulg ²)	HORA (h:min)	TIEMPO TRANSC. (h:min)	TIEMPO TRANSC. (min)	FUERZA(lb)			FUERZA PROM. (lb)	PRESION (lb/pulg ²)
					E1	E2	E3		
1 1/8"	0.994	13:10	03:50	230	105	100	95	100.00	100.60
13/16	0.5185	13:30	04:10	250	200	210	210	206.67	398.59
9/16	0.2485	13:50	04:30	270	100	110	105	105.00	422.54
5/16	0.0767	14:20	05:00	300	110	110	120	113.33	1477.62
1/4	0.0491	15:00	05:40	340	170	180	170	173.33	3530.21
3/16	0.0276	15:25	06:05	365	200	190	210	200.00	7246.38

Tiempo de fragua inicial (500 lb/pulg²) = 4:32 h:min

Tiempo de fragua final (2000 lb/pulg²) = 5:43 h:min

Grafico8.2.3.1.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, diseño patrón

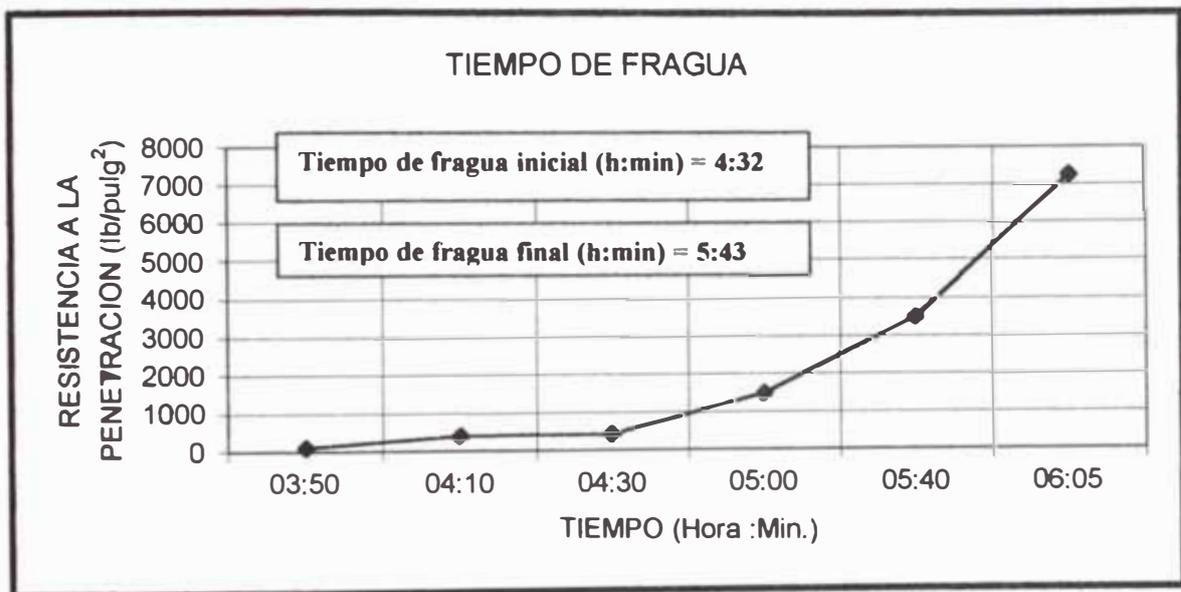
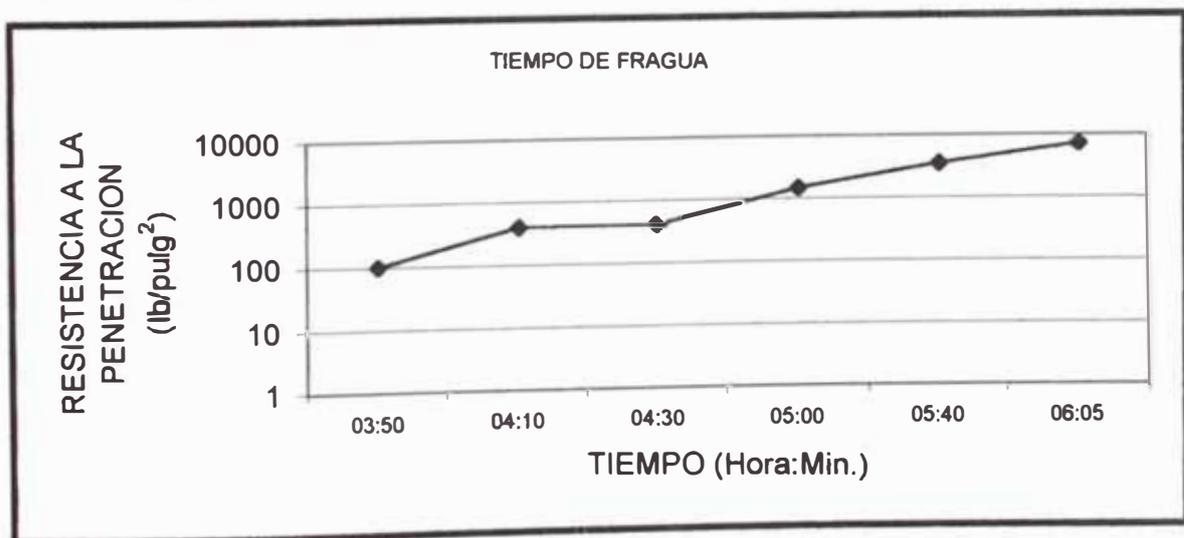


Grafico8.2.3.2.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, diseño patrón



Cuadro 8.2.3.2.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo I, diseño 0.4% aditivo

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA CEMENTO TIPO I a/c = 0.45 - 0.4% ADITIVO									
Hora de inicio: 11:35									
DIAM. AGUJA (pulg)	AREA (pulg ²)	HORA (h:min)	TIEMPO TRANSC. (h:min)	TIEMPO TRANSC. (min)	FUERZA(lb)			FUERZA PROM. (lb)	PRESION (lb/pulg ²)
					E1	E2	E3		
1 1/8"	0.994	15:15	03:40	220	90	95	85	90.00	90.54
13/16	0.5185	15:40	04:05	245	110	115	105	110.00	212.15
9/16	0.2485	16:20	04:45	285	130	135	140	135.00	543.26
5/16	0.0767	16:50	05:15	315	130	120	130	126.67	1651.46
1/4	0.0491	17:10	05:35	335	190	200	195	195.00	3971.49
3/16	0.0276	17:30	05:55	355	160	170	165	165.00	5978.26

Tiempo de fragua inicial (500 lb/pulg²) = 4:40 h:min

Tiempo de fragua final (2000 lb/pulg²) = 5:35 h:min

Grafico 8.2.3.3.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, 0.4% aditivo

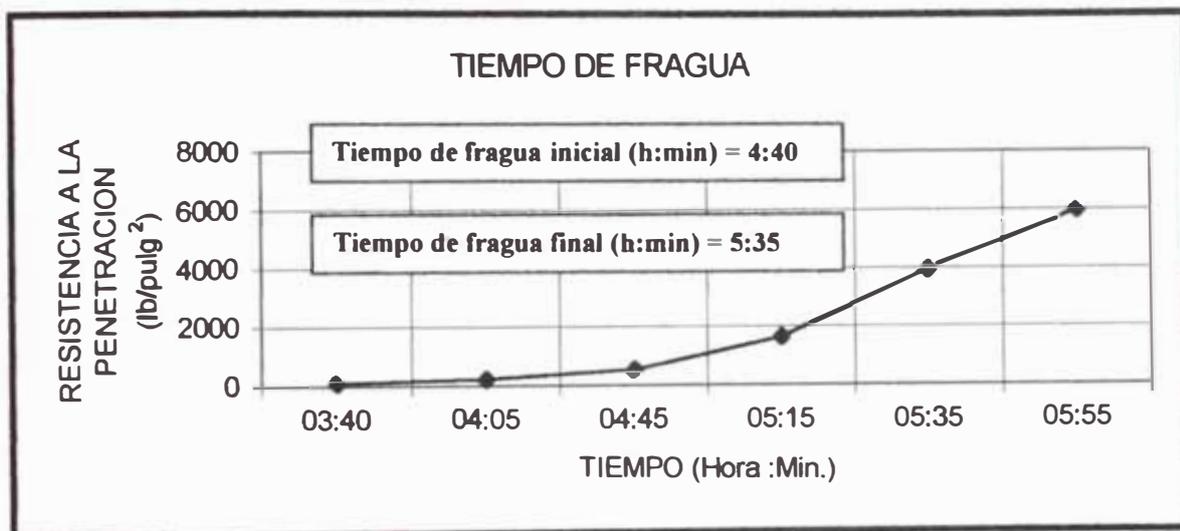
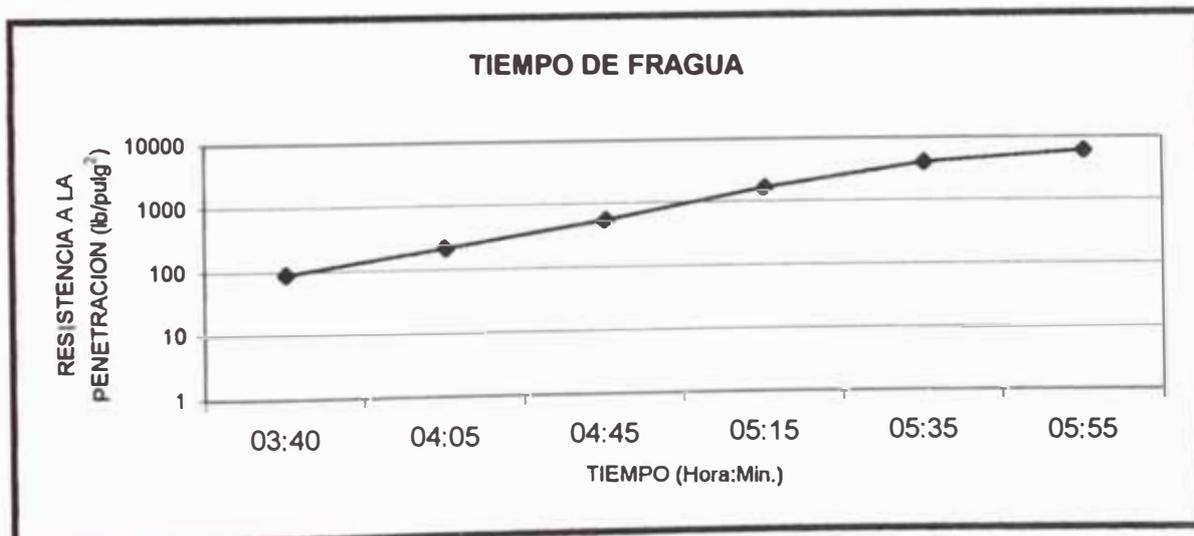


Grafico 8.2.3.4.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, 0.4% aditivo



Cuadro 8.2.3.3.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo I, 0.8% aditivo

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA CEMENTO TIPO I a/c = 0.45 - 0.8% ADITIVO									
Hora de inicio: 12:35									
DIAM. AGUJA (pulg)	AREA (pulg ²)	HORA (h:min)	TIEMPO TRANSC. (h:min)	TIEMPO TRANSC. (min)	FUERZA(lb)			FUERZA PROM. (lb)	PRESION (lb/pulg ²)
					E1	E2	E3		
1 1/8"	0.994	16:20	03:45	225	100	110	100	103.33	103.96
13/16	0.5185	18:00	05:25	325	120	110	130	120.00	231.44
9/16	0.2485	18:30	05:55	355	150	140	160	150.00	603.62
5/16	0.0767	19:00	06:25	385	120	130	140	130.00	1694.92
1/4	0.0491	19:30	06:55	415	130	140	120	130.00	2647.66
3/16	0.0276	20:00	07:25	445	125	120	130	125.00	4528.99

Tiempo de fragua inicial (500 lb/pulg²) = 5:47 h:min

Tiempo de fragua final (2000 lb/pulg²) = 7:17 h:min

Grafico 8.2.3.5.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, 0.8% aditivo

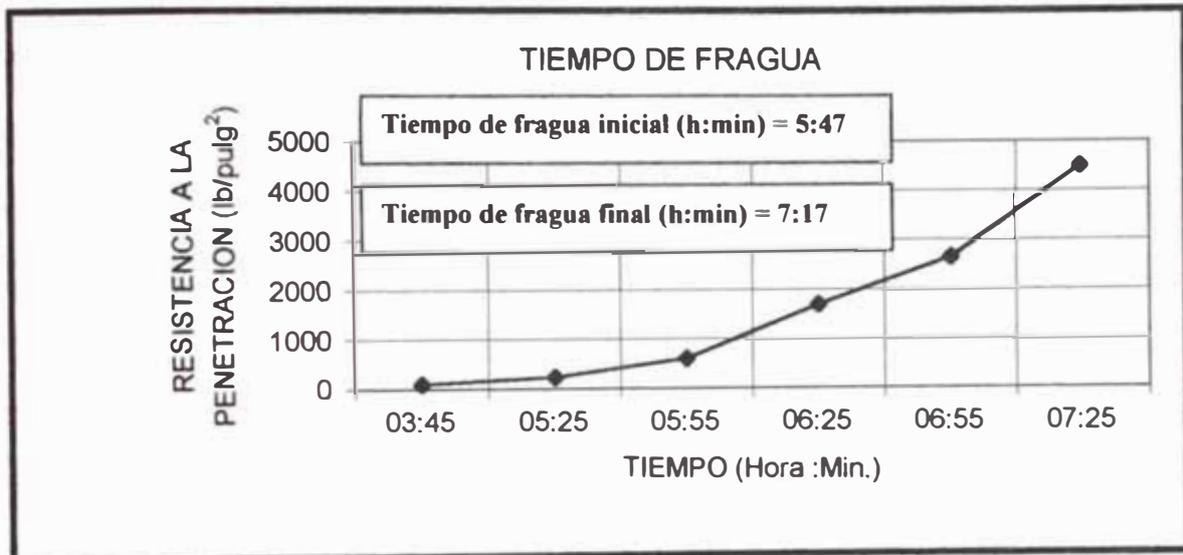
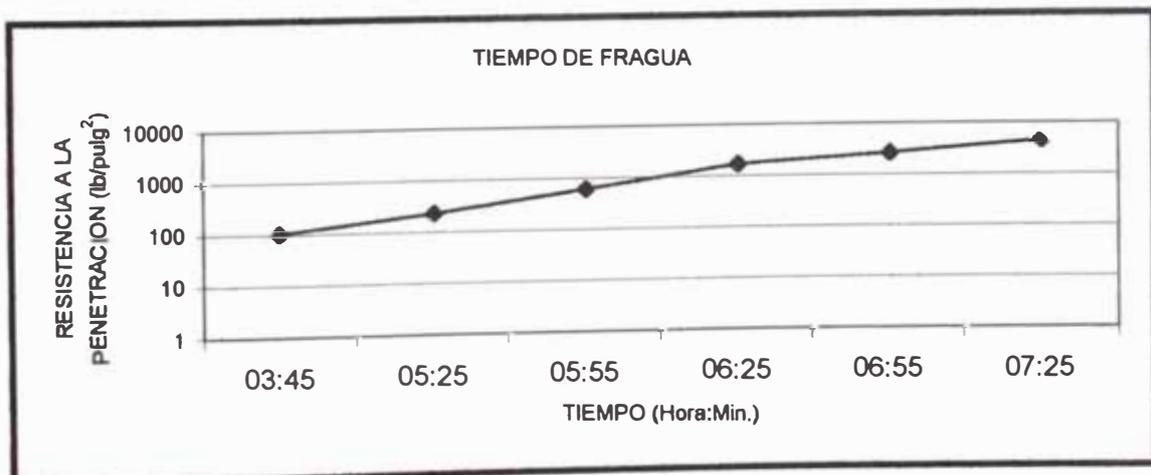


Grafico 8.2.3.6.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, 0.8% aditivo



Cuadro 8.2.3.4.-Ensayo de tiempo de fragua, cemento tipo I, 1.2% aditivo

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA CEMENTO TIPO I a/c = 0.45 - 1.2% ADITIVO									
Hora de inicio:09:15									
DIAM. AGUJA (pulg)	AREA (pulg ²)	HORA (h:min)	TIEMPO TRANSC. (h:min)	TIEMPO TRANSC. (min)	FUERZA(lb)			FUERZA PROM. (lb)	PRESION (lb/pulg ²)
					E1	E2	E3		
1 1/8"	0.994	15:20	06:05	365	140	130	140	136.67	137.49
13/16	0.5185	15:50	06:35	395	120	130	135	128.33	247.51
9/16	0.2485	16:20	07:05	425	110	115	110	111.67	449.36
5/16	0.0767	16:50	07:35	455	100	110	100	103.33	1347.24
1/4	0.0491	17:30	08:15	495	150	160	155	155.00	3156.82
3/16	0.0276	18:10	08:55	535	230	220	225	225.00	8152.17

Tiempo de fragua inicial (500 lb/pulg²) = 7:07 h:min

Tiempo de fragua final (2000 lb/pulg²) = 8:22 h:min

Grafico 8.2.3.7.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, 1.2% aditivo

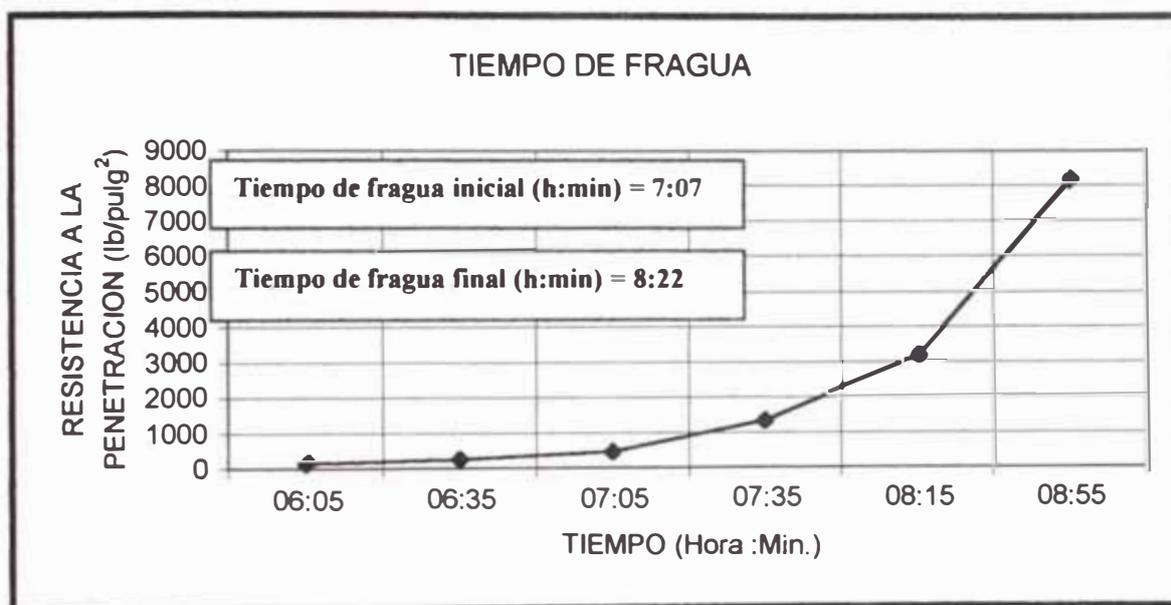
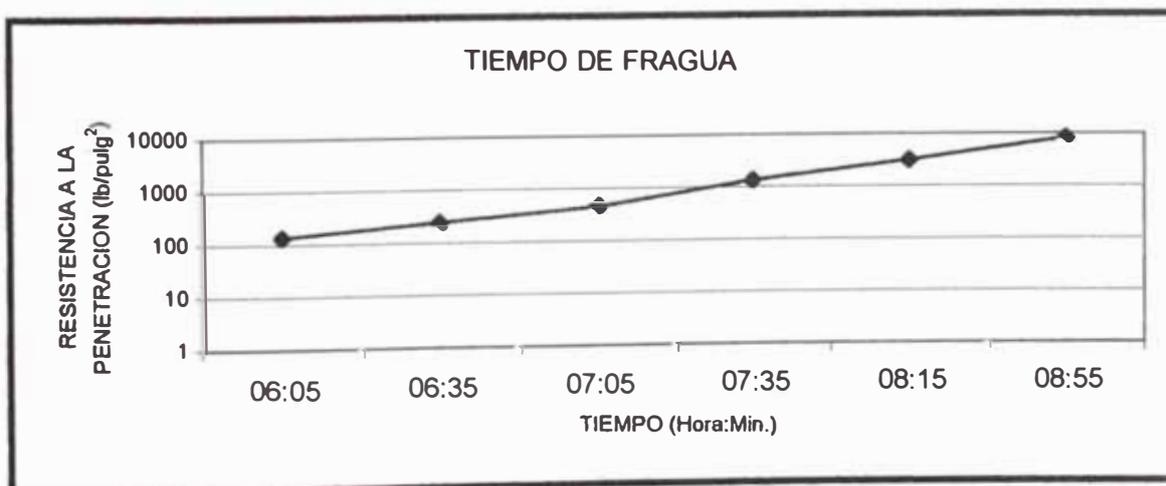


Grafico 8.2.3.8.- Ensayo tiempo de fragua; cemento tipo I, 1.2% aditivo



8.2.4 FLUIDEZ (NTP 339.085)

Esta prueba consiste en determinar el índice de consistencia del concreto fresco, este índice es una de la manejabilidad de la mezcla. Por lo general se utiliza este método debido a que es mas exacto que la prueba de revenimiento en los casos de concretos de consistencia seca, sin embargo no es usual su utilización, ya que solo puede efectuarse en laboratorio.

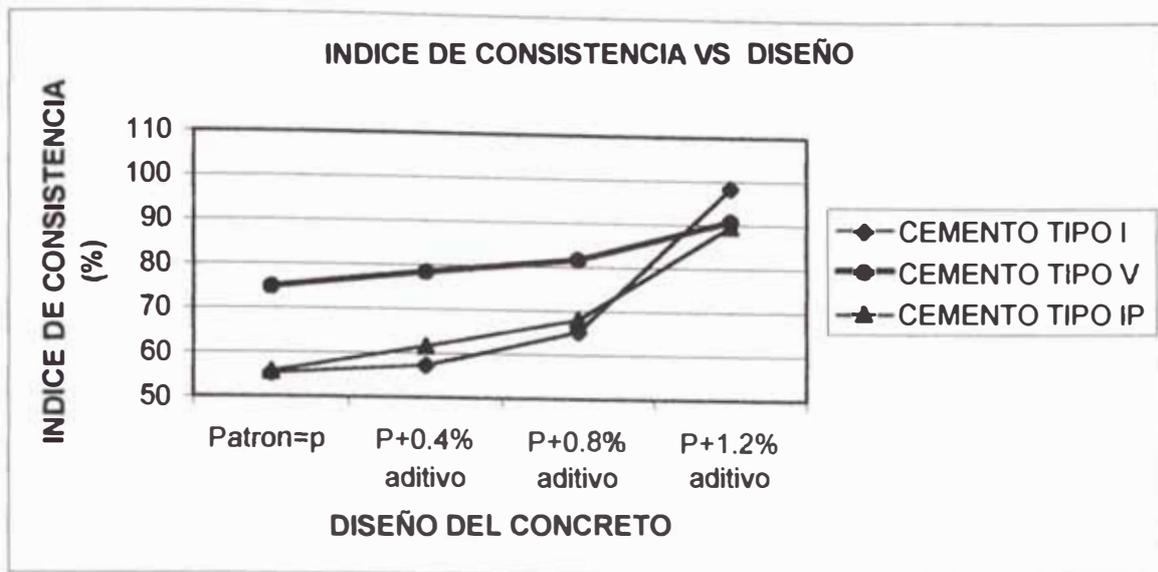
El índice de consistencia es la relación entre el incremento del diámetro que experimenta la base inferior de un tronco de cono de masa de concreto fresco (el cual ha sido llenado en tres capas compactando cada una con 25 golpes con una varilla de acero liso) sometido a 15 sacudidas sucesivas.

La norma NTP 339.085 describe el método de ensayo para la determinación del índice de consistencia de concreto fresco, mediante el uso de la mesa de sacudidas.

Cuadro 8.2.4.1.- Ensayo de fluidez NTP 339.085

MEZCLA		MESA DE SACUDIDA (Mesa de flujo) Diámetro(cm.)						INDICE DE CONSISTENCIA (%)	ASENTAMIENTO (pulg.)
TIPO DE CEMENTO	DISEÑO	D1	D2	D3	D4	D5	PROMEDIO		
TIPO I	Patrón	38.5	39	39	38.5	39	38.8	55.2	3 1/2"
	con 0.4% de Ad.	39	39	39	40	39.5	39.3	57.2	3"
	con 0.8% de Ad.	40	41.5	42	41	42	41.3	65.2	4 1/2"
	con 1.2% de Ad.	50	50	49	50	49	49.6	98.4	6"
TIPO V	Patrón	43.5	43.5	44	44	43.5	43.7	74.8	3 1/2"
	con 0.4% de Ad.	45	44	44.5	45	44.5	44.6	78.4	4 "
	con 0.8% de Ad.	45	46.5	45.5	45	45	45.4	81.6	4 1/2"
	con 1.2% de Ad.	47	48	48	47.5	48	47.7	90.8	6"
TIPO IP	Patrón	38.5	39	39	38	40	38.9	55.6	3 1/2"
	con 0.4% de Ad.	41	39	41	41	40	40.4	61.6	3 3/4"
	con 0.8% de Ad.	41.5	42.5	42	42	42	42	68	3 3/4"
	con 1.2% de Ad.	47	47	48	48	47	47.4	89.6	6"

Grafico 8.2.4.1.- Ensayo de fluidez NTP 339.085



8.2.5 EXUDACIÓN NTP 339.077

La exudación, conocida también como ganancia de agua, es una forma de segregación en la que parte del agua de la mezcla tiende a subir a la superficie del concreto recién colocado. Se origina con la incapacidad de los componentes sólidos para retener toda el agua cuando se asientan. La exudación puede expresarse cualitativamente como el asentamiento total (reducción de altura) por unidad de altura del concreto. Tanto la capacidad de exudación como la proporción de exudación puede determinarse experimentalmente mediante la prueba NTP 339.077 (ASTM C 232-71). La exudación del concreto termina cuando la pasta ha endurecido lo suficiente.

A consecuencia de la exudación, la parte superior de cada capa de concreto colocada puede quedar demasiado húmeda y, si el agua queda atrapada por el concreto superpuesto, da por resultado una capa porosa débil y no duradera de concreto. Si el agua exudada se vuelve a mezclar durante el acabado de la superficie superior, resultara una superficie de desgaste débil. Esto puede evitarse retrasando las operaciones de acabado hasta que el agua exudada se haya evaporado; también se evita con el uso de flotadores de madera y evitando sobre trabajar la superficie. Por otra parte, si la evaporación del agua de la superficie del concreto es mas rápida que el índice de exudación, puede producirse un agrietamiento por contracción de fraguado plástico.

Además de la acumulación en la superficie superior del concreto, parte del agua que sube queda atrapada debajo de partículas grandes de agregado o del refuerzo, creando zonas de baja adherencia. Esa agua va dejando vacíos y, puesto que estos quedan orientados en la misma dirección, la permeabilidad del concreto en un plano horizontal podría incrementarse. Una pequeña cantidad de vacíos esta presente casi siempre, pero la exudación abundante debe evitarse, ya que aumenta el riesgo de daño por congelación. La exudación se manifiesta con frecuencia en forma de laminas delgadas, como caminos, en los cuales el congelamiento representa un riesgo considerable.

La exudación no es necesariamente dañina. Si no es interrumpida (y el agua se evapora), la relación efectiva agua/cemento puede reducirse, son el consiguiente incremento en la resistencia. Por otra parte, si el agua que sube lleva consigo gran cantidad de las partículas mas finas de cemento, se formará una capa de nata. Si esta queda en la parte superior de un bloque, se formará una superficie porosa y con aspecto polvoso permanente. En la parte superior se formará una capa débil y su adherencia con la siguiente será inadecuada. Por esta razón, la nata siempre debe ser removida mediante cepillado y lavado. La tendencia a la exudación depende del contenido de agua de la mezcla, pero también de las propiedades del cemento. Será menor con cementos mas finos y también influirán en ella algunas aspectos químicos: será menor cuando el cemento contenga mucho álcali o C3A, o cuando se añada cloruro de calcio; aunque los dos últimos factores pueden producir otros efectos indeseables. Una mayor temperatura, dentro del rango normal, incrementa la tasa de exudación, aunque la capacidad de exudación total probablemente no resulte afectada. Las mezclas ricas son menos propensas a la exudación añadiendo puzolana o polvo de aluminio. La incorporación de aire reduce eficazmente el exudado. Para que después del colado se siga con el acabado.

A continuación se muestran los resultados de laboratorio, para concretos sin aditivo y con aditivo.

RESULTADOS DEL ENSAYO DE EXUDACIÓN:

**8.2.5.1 ENSAYO DE EXUDACIÓN DISEÑO PATRÓN ,
CEMENTO TIPO I**

TIEMPO (HORA: MINUTOS)	VOLUMEN DE EXUDACION (cm ³)	VOLUMEN DE EXUDACION ACUMULADO (cm ³)
12:25	0	0
12:35	5.7	5.7
12:45	5.6	11.3
12:55	5.6	16.9
13:05	5.4	22.3
13:15	8.1	30.4
13:25	4.9	35.3
13:35	6.1	41.4
13:45	5.2	46.6
13:55	4.5	51.1
14:05	4.8	55.9
14:25	8.4	64.3
14:45	6.6	70.9
15:05	4.1	75

MATERIAL	TANDA DE PRUEBA (40 kg)
Cemento	9.386
Agua	4.431
Arena	13.870
Piedra	12.313
% de Aire	0.001
total	40.000

PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE= PT= 39.25
 PESO DEL RECIPIENTE= PR= 9.07
 PESO DE LA MUESTRA PT-PR= 30.18

CALCULO DEL AGUA ACUMULADA DE EXUDACION, EXPRESADA COMO PORCENTAJE DEL AGUA DE MEZCLADO CONTENIDA EN LA PROBETA DE ENSAYO:

W= Masa total de la mezcla(kg) = 40
 w= Masa neta del agua en la mezcla (kg) = 4.431
 S= Masa de la muestra (kg) = 30.18
 C= Masa de agua en la probeta de ensayo (gr)
 C=w/WxS= 3.34295 kg = 3342.95
 D= Volumen total del agua de exudación extraída de la probeta de ensayo en cm³, multiplicada por 1g/cm³ o masa del agua de exudación en gramos

D= 75 gr.

EXUDACION (%) = D/C X 100 =	2.244	%
-----------------------------	--------------	----------

**8.2.5.2 ENSAYO DE EXUDACIÓN DISEÑO 0.4%
ADITIVO, CEMENTO TIPO I**

TIEMPO (HORA: MINUTOS)	VOLUMEN DE EXUDACION (cm ³)	VOLUMEN DE EXUDACION ACUMULADO (cm ³)
09:47	0	0
10:00	0	0
10:10	0	0
10:20	0	0
10:30	0	0
10:45	0.4	0.4
11:15	0.4	0.8
11:30	0.6	1.4
12:00	0.8	2.2
12:25	0.6	2.8

MATERIAL	TANDA DE PRUEBA (40 kg)
Cemento	9.39
Agua	3.59
Arena	13.87
Piedra	12.31
Aire	0.0006
Aditivo	0.0375
total	39.2

PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE= PT= 39.75
 PESO DEL RECIPIENTE= PR= 9.07
 PESO DE LA MUESTRA PT-PR= 30.68

CALCULO DEL AGUA ACUMULADA DE EXUDACION, EXPRESADA COMO PORCENTAJE DEL AGUA DE MEZCLADO CONTENIDA EN LA PROBETA DE ENSAYO:

W= Masa total de la mezcla(kg) = 39.2
 w= Masa neta del agua en la mezcla (kg) = 3.6275
 S= Masa de la muestra (kg) = 30.68
 C= Masa de agua en la probeta de ensayo (gr)

C=w/WxS= 2 83907 kg = 2839.07

D= Volumen total del agua de exudación extraída de la probeta de ensayo en cm³, multiplicada por 1g/cm³ o masa del agua de exudación en gramos

D= 2.8 gr.

EXUDACION (%) = D/C X 100 = 0.099%

8.2.5.3 ENSAYO DE EXUDACIÓN DISEÑO 0.8% ADITIVO CEMENTO TIPO I

TIEMPO (HORA: MINUTOS)	VOLUMEN DE EXUDACION (cm ³)	VOLUMEN DE EXUDACION ACUMULADO (cm ³)
10.15	0	0
12:00	0.2	0.2

MATERIAL	TANDA DE PRUEBA (40 kg)
Cemento	9.39
Agua	3.06
Arena	13.87
Piedra	12.31
Aire	0.0006
Aditivo	0.0751
total	38.7

PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE= PT= 40.4
 PESO DEL RECIPIENTE= PR= 9.492
 PESO DE LA MUESTRA PT-PR= 30.908

CALCULO DEL AGUA ACUMULADA DE EXUDACION, EXPRESADA COMO PORCENTAJE DEL AGUA DE MEZCLADO CONTENIDA EN LA PROBETA DE ENSAYO:

W= Masa total de la mezcla(kg) = 38.7
 w= Masa neta del agua en la mezcla (kg) = 3.1351
 S= Masa de la muestra (kg) = 30.908
 C= Masa de agua en la probeta de ensayo (gr)
 C=w/WxS= 2.50387kg = 2503.87

D= Volumen total del agua de exudación extraida de la probeta de ensayo en cm³, multiplicada por 1g/cm³ o masa del agua de exudación en gramos

D= 0.2 gr.
 EXUDACION (%) = D/C X 100 = 0.008 %

8.2.5.4 ENSAYO DE EXUDACIÓN DISEÑO 1.2% ADITIVO CEMENTO TIPO I

EXUDACIÓN: 0%

8.2.5.5 ENSAYO DE EXUDACIÓN DISEÑO PATRÓN CEMENTO TIPO V

TIEMPO (HORA: MINUTOS)	VOLUMEN DE EXUDACION (cm ³)	VOLUMEN DE EXUDACION ACUMULADO (cm ³)
13:20	0	0
13:30	7.5	7.5
13:40	7	14.5
13:50	7.4	21.9
14:00	4	25.9
14:10	6	31.9
14:30	8	39.9
14:50	7.2	47.1
15:10	8.3	55.4
15:30	1.6	57
15:45	0.3	57.3
16:30	0.2	57.5

MATERIAL	TANDA DE PRUEBA (40 kg)
Cemento	8.315
Agua	3.961
Arena	14.687
Piedra	13.037
% de Aire	0.001
total	40.000

PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE= PT= 40.1
 PESO DEL RECIPIENTE= PR= 9.07
 PESO DE LA MUESTRA PT-PR= 31.03

CALCULO DEL AGUA ACUMULADA DE EXUDACION, EXPRESADA COMO PORCENTAJE DEL AGUA DE MEZCLADO CONTENIDA EN LA PROBETA DE ENSAYO:

W= Masa total de la mezcla(kg) = 40.000
 w= Masa neta del agua en la mezcla (kg) = 3.961
 S= Masa de la muestra (kg) = 31.03
 C= Masa de agua en la probeta de ensayo (gr)

$C = w/W \times S = 3.07265032 \text{ kg} = 3072.65 \text{ gr.}$

D= Volumen total del agua de exudación extraída de la probeta de ensayo en cm³, multiplicada por 1g/cm³ o masa del agua de exudación en gramos

D= 57.5gr.
EXUDACION (%) = D/C X 100 = 1.871%

**8.2.5.6 ENSAYO DE EXUDACIÓN DISEÑO 0.4%
ADITIVO CEMENTO TIPO V**

TIEMPO (HORA: MINUTOS)	VOLUMEN DE EXUDACION (cm ³)	VOLUMEN DE EXUDACION ACUMULADO (cm ³)
12:00	0	0
12:10	11.2	11.2
12:20	9.8	21
12:30	6.2	27.2
12:40	5.1	32.3
12:50	3.8	36.1
13:20	3.5	39.6
13:50	2.8	42.4
14:20	2.4	44.8
14:50	2.4	47.2
15:20	1.9	49.1
15:50	2	51.1
16:20	1.2	52.3
16:50	1	53.3

MATERIAL	TANDA DE PRUEBA (40 kg)
Cemento	8.32
Agua	3.38
Arena	14.69
Piedra	13.04
Aire	0.0006
Aditivo	0.0333
total	39.45

PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE=

PT= 41.2

PESO DEL RECIPIENTE=

PR= 9.07

PESO DE LA MUESTRA

PT-PR= 32.13

CALCULO DEL AGUA ACUMULADA DE EXUDACION, EXPRESADA COMO PORCENTAJE DEL AGUA DE MEZCLADO CONTENIDA EN LA PROBETA DE ENSAYO:

W= Masa total de la mezcla(kg) = 39.45
w= Masa neta del agua en la mezcla (kg) = 3.4133
S= Masa de la muestra (kg) = 32.13
C= Masa de agua en la probeta de ensayo (gr)
C=w/WxS= 2.77996kg = 2779.96gr.

D= Volumen total del agua de exudación extraída de la probeta de ensayo en cm³, multiplicada por 1g/cm³ o masa del agua de exudación en gramos

D= 53.3gr.

EXUDACION (%) = D/C X 100 = 1.917%

**8.2.5.7 ENSAYO DE EXUDACIÓN DISEÑO 0.8%
ADITIVO CEMENTO TIPO V**

TIEMPO (HORA: MINUTOS)	VOLUMEN DE EXUDACION (cm ³)	VOLUMEN DE EXUDACION ACUMULADO (cm3)
10:10	0	0
10:20	11	11
10:30	10.1	21.1
10:40	8	29.1
10:50	6	35.1
11:00	3	38.1
11:20	2.5	40.6
11:40	3.6	44.2
12:00	2.9	47.1
12:20	2.5	49.6
12:40	2.3	51.9
13:00	1.5	53.4
13:20	1.5	54.9
13:40	1	55.9
14:00	0.5	56.4
14:20	0.2	56.6

MATERIA	TANDA DE PRUEBA (40 kg)
L	
Cemento	8.32
Agua	2.72
Arena	14.69
Piedra	13.04
Aire	0.0006
Aditivo	0.0665
total	38.83

PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE=

PT= 42.7

PESO DEL RECIPIENTE=

PR= 9.492

PESO DE LA MUESTRA

PT-

PR= 33.208

CALCULO DEL AGUA ACUMULADA DE EXUDACION, EXPRESADA COMO PORCENTAJE DEL AGUA DE MEZCLADO CONTENIDA EN LA PROBETA DE ENSAYO:

W= Masa total de la mezcla(kg) = 38.83

w= Masa neta del agua en la mezcla (kg) = 2.7865

S= Masa de la muestra (kg) = 33.208

C= Masa de agua en la probeta de ensayo (gr)

C=w/WxS= 2.38306kg = 2383.06gr.

D= Volumen total del agua de exudación extraída de la probeta de ensayo en cm3, multiplicada por 1g/cm3 o masa del agua de exudación en gramos

D= 56.6gr.

EXUDACION (%) = D/C X 100 = 2.375%

8.2.5.8 ENSAYO DE EXUDACIÓN DISEÑO 1.2% ADITIVO CEMENTO TIPO V

CEMENTO TIPO V ; a/c=0.45
DISEÑO 1.2% ADITIVO

TIEMPO (HORA: MINUTOS)	VOLUMEN DE EXUDACION (cm ³)	VOLUMEN DE EXUDACION ACUMULADO (cm ³)
13:50	0.0	0.0
14:00	16.8	16.8
14:10	16.0	32.8
14:20	9.6	42.4
14:30	10.0	52.4
14:40	5.2	57.6
14:50	4.9	62.5
15:10	6.2	68.7
15:30	3.2	71.9
15:45	1.0	72.9
16:15	6.7	79.6
16:30	1.1	80.7
17:15	2.0	82.7
17:20	0.6	83.3
17:25	0.5	83.8
17:35	0.2	84.0

MATERIAL	TANDA DE PRUEBA (40 kg)
Cemento	8.32
Agua	2.51
Arena	14.69
Piedra	13.04
Aire	0.0006
Aditivo	0.0998
total	38.65

PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE= PT= 43
 PESO DEL RECIPIENTE= PR= 9.492
 PESO DE LA MUESTRA PT-PR= 33.508

CALCULO DEL AGUA ACUMULADA DE EXUDACION, EXPRESADA COMO PORCENTAJE DEL AGUA DE MEZCLADO CONTENIDA EN LA PROBETA DE ENSAYO:

W= Masa total de la mezcla(kg) = 38.65
 w= Masa neta del agua en la mezcla (kg) = 2.6098
 S= Masa de la muestra (kg) = 33.508
 C= Masa de agua en la probeta de ensayo (gr)
 C=w/WxS= 2.26259194kg = 2262.59

D= Volumen total del agua de exudación extraída de la probeta de ensayo en cm³, multiplicada por 1g/cm³ o masa del agua de exudación en gramos

D= 84.0gr.
EXUDACION (%) = D/C X 100 = 3.713%

8.2.5.9 ENSAYO DE EXUDACIÓN DISEÑO PATRÓN CEMENTO TIPO IP

TIEMPO MINUTOS) (HORA:	VOLUMEN DE EXUDACION (cm ³)	VOLUMEN DE EXUDACION ACUMULADO (cm ³)
12:00	0.0	0
12:10	0.6	0.6
12:20	1.0	1.6
12:30	3.3	4.9
12:40	3.5	8.4
13:00	3.1	11.5
13:25	1.4	12.9
13:35	1.0	13.9
13:55	0.4	14.3

MATERIAL	TANDA DE PRUEBA (40 kg)
Cemento	10.157
Agua	4.769
Arena	13.283
Piedra	11.791
% de Aire	0.001
total	40.000

PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE=
PESO DEL RECIPIENTE=
PESO DE LA MUESTRA

PT= 42.4
PR= 12.086
PT-PR= 30.314

CALCULO DEL AGUA ACUMULADA DE EXUDACION, EXPRESADA COMO PORCENTAJE DEL AGUA DE MEZCLADO CONTENIDA EN LA PROBETA DE ENSAYO:

W= Masa total de la mezcla(kg) = 40
w= Masa neta del agua en la mezcla (kg) = 4.769
S= Masa de la muestra (kg) = 30.314
C= Masa de agua en la probeta de ensayo (gr)

C=w/WxS= 3.61403792kg = 3614.04gr.

D= Volumen total del agua de exudación extraída de la probeta de ensayo en cm³, multiplicada por 1g/cm³ o masa del agua de exudación en gramos

D= 14.3gr.

EXUDACION (%) =D/C X 100 =	0.396%
----------------------------	---------------

**8.2.5.10 ENSAYO DE EXUDACIÓN DISEÑO 0.4%
ADITIVO CEMENTO TIPO IP**

TIEMPO MINUTOS)	(HORA:	VOLUMEN DE EXUDACION (cm ³)	VOLUMEN DE EXUDACION ACUMULADO (cm ³)
	10:50	0	0
	12:10	2.2	2.2

MATERIAL	TANDA DE PRUEBA (40 kg)
Cemento	10.16
Agua	4.2
Arena	13.28
Piedra	11.79
Aire	0.0006
Aditivo	0.0406
total	39.47

PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE =
PESO DEL RECIPIENTE =
PESO DE LA MUESTRA

PT= 38.4
PR= 9.07
PT-PR= 29.33

CALCULO DEL AGUA ACUMULADA DE EXUDACION, EXPRESADA COMO PORCENTAJE DEL AGUA DE MEZCLADO CONTENIDA EN LA PROBETA DE ENSAYO:

W= Masa total de la mezcla(kg) = 39.47
w= Masa neta del agua en la mezcla (kg) = 4.2406
S= Masa de la muestra (kg) = 29.33
C= Masa de agua en la probeta de ensayo (gr.)

C=w/WxS= 3.15117299kg = 3151.17gr.

D= Volumen total del agua de exudación extraída de la probeta de ensayo en cm³, multiplicada por 1g/cm³ o masa del agua de exudación en gramos

D= 2.2gr.

EXUDACION (%) = D/C X 100 =	0.070%
-----------------------------	--------

**8.2.5.11 ENSAYO DE EXUDACIÓN DISEÑO 0.8%
ADITIVO CEMENTO TIPO IP
EXUDACIÓN: 0%**

**8.2.5.12 ENSAYO DE EXUDACIÓN DISEÑO 1.2%
ADITIVO CEMENTO TIPO IP
EXUDACIÓN: 0%**

**Cuadro 8.2.5.1.-Ensayo de exudación del concreto (resumen) a/c = 045
cemento tipo I, V y IP; aditivo SIKA VISCOCRETE-3**

TIPO DE CEMENTO	Diseño	Exudación (%)
I	Patron=p	2.244
	P+0.4% aditivo	0.099
	P+0.8% aditivo	0.008
	P+1.2% aditivo	0
V	Patron=p	1.871
	P+0.4% aditivo	1.917
	P+0.8% aditivo	2.375
	P+1.2% aditivo	3.713
IP	Patron=p	0.396
	P+0.4% aditivo	0.070
	P+0.8% aditivo	0
	P+1.2% aditivo	0

RESUMEN DE PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

Cuadro 8.2.5.2.- Propiedades del concreto fresco, a/c = 045; CEMENTO TIPO I, V Y IP; ADITIVO SIKA VISCOCRETE-3

TIPO DE CEMENTO	Diseño	Reducción de agua (%)	a/c final	Asentamiento (pulg)	Índice de consistencia (%)	Peso unitario (kg/m ³)	Exudación (%)	Tiempo de fragua(h:min)	
								inicio	final
I	Patrón =p	0	0.45	3 3/4	55.2	2394.65	2.244	04:32	05:43
	P+0.4% aditivo	16.06	0.36	3 1/2	57.2	2442.33	0.099	04:40	05:35
	P+0.8% aditivo	27.14	0.3	3 3/4	65.2	2463.52	0.008	05:47	07:17
	P+1.2% aditivo	31.48	0.28	6	98.4	2484.7	0	07:07	08:22
V	Patrón =p	0	0.45	3 1/2	74.8	2452.92	1.871	05:58	07:27
	P+0.4% aditivo	12.74	0.38	3 3/4	78.4	2452.92	1.917	07:01	08:16
	P+0.8% aditivo	28.28	0.3	4	81.6	2463.52	2.375	08:16	10:54
	P+1.2% aditivo	33.56	0.28	6	90.8	2505.89	3.713	11:56	14:33
IP	Patrón =p	0	0.45	3 1/4	55.6	2362.87	0.396	04:09	05:20
	P+0.4% aditivo	9.79	0.39	3 1/2	61.6	2378.76	0.07	03:54	05:14
	P+0.8% aditivo	19.45	0.34	3 3/4	68	2389.36	0	03:09	04:38
	P+1.2% aditivo	27.17	0.3	6	89.6	2458.22	0	05:25	07:02

8.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

8.3.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia del concreto es la propiedad mas apreciada por los diseñadores y por los ingenieros de control de calidad. En los sólidos, existe una relación inversa fundamental entre la porosidad (la parte de huecos en el volumen) y la resistencia. Por consecuencia en materiales de múltiples fases como el concreto, la porosidad de la estructura de cada componente puede convertirse en un limite a la resistencia. Los agregados naturales son generalmente densos y resistentes; por lo tanto, la porosidad de la matriz de la pasta de cemento así como la de la zona de transición entre la matriz y el agregado grueso, son las que generalmente determinan las características de resistencia de peso normal. La resistencia de un material se define como la habilidad para resistir esfuerzos sin fallar. La falla se identifica algunas veces con la aparición de grietas. Sin embargo, debe hacerse notar que a diferencia de la mayoría de los materiales estructurales, el concreto contiene grietas finas aun antes de estar sujeto a esfuerzos externos. En el concreto por lo tanto, la resistencia se relaciona con el esfuerzo requerido para causar fractura y es sinónimo del grado de falla en el que el esfuerzo aplicado alcanza su valor máximo. En las pruebas de tensión, la fractura de la pieza probada generalmente significa falla; en la compresión, la pieza probada se considera que ha fallado cuando, no habiendo señas de fractura externa visibles, el agrietamiento interno es tan avanzado que el espécimen es incapaz de soportar una carga mayor sin fracturarse.

La resistencia a la compresión del concreto es muchas veces mayor que otros tipos de resistencia, y que a una mayoría de los elementos de concreto están diseñados para aprovechar la mayor resistencia a la compresión del material. Aunque en la practica la mayor parte del concreto es sometido simultáneamente a una combinación de esfuerzos de compresión, tensión y cortante en dos a mas direcciones, las pruebas a la compresión aniaxial son las mas fáciles de realizar en el laboratorio y la resistencia del concreto a la compresión a los 28 días determina por una prueba estándar uniaxial a la compresión, se acepta universalmente como un índice general de la resistencia del concreto.

FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

la respuesta del concreto al esfuerzo aplicado depende no solamente del tipo de esfuerzo, sino también de cómo una combinación de varios factores afecta la porosidad de los distintos componentes estructurales del concreto. Los factores incluyen las propiedades y las proporciones de los materiales que constituyen la mezcla del concreto, el grado de compactación y las condiciones del curado. Desde el punto de vista de la resistencia, la relación entre la relación agua/cemento y la porosidad es indudablemente el factor más importante, por que independientemente de otros factores afecta la porosidad de ambos, la matriz y el agregado grueso.

Relación agua/cemento. En 1918, como resultado de pruebas exhaustivas en el Lewis Institute, University of Illinois, Duff Abrams encontró que existía una relación entre la relación Agua /cemento y la resistencia del concreto esta relación inversa se representa por la fórmula : $f_c = k_1 / (k_2^{w/c})$, en donde w/c representa la relación agua/cemento de la mezcla de concreto, y k_1 y k_2 son constantes empíricas.

Inclusión de aire. En la mayoría de los casos, es la relación agua/cemento la que determina la porosidad de la matriz de la pasta de cemento a un cierto grado de hidratación; sin embargo, cuando los huecos de aire se incorpora al sistema , ya sea como resultado de compactación inadecuada o por el uso de un aditivo inclusor de aire, también tienen el efecto de incrementar la porosidad y de disminuir la resistencia del sistema.

Se ha observado que la cantidad de pérdida de resistencia como resultado del aire incluido, depende no solamente de la relación agua/cemento de la mezcla de concreto si no también del contenido de cemento. En resumen, como una primera aproximación, la pérdida de resistencia debida a la inclusión de aire puede relacionarse con el nivel general de la resistencia del concreto.

Tipo de cemento. A temperatura normal, las velocidades de hidratación y de desarrollo de resistencia de los cementos portland ASTM tipo II, IV y V, tipo IS(cemento portland de escoria de alto horno), y tipo IP(cemento portland Puzolanico), son en alguna forma menores que los del cemento portland ASTM Tipo I. A temperaturas ordinarias , para diferentes tipos de cemento portland

portland y cementos mezclados, el grado de hidratación a los 90 días y posteriormente, es generalmente similar; por lo tanto, la influencia de la composición del cemento en la porosidad de la matriz y en la resistencia del concreto esta limitada a las edades tempranas.

Agregado. Es verdad que la resistencia del agregado no es en general un factor en la resistencia normal del concreto, por que con la excepción de los agregados naturales, la resistencia del agregado es difícilmente utilizada por que la falla es determinada por las otras dos fases.

Sin embargo, hay características del agregado distintas ala resistencia, como son el tamaño, la forma, la textura de la superficie, la granulometría (distribución del tamaño de partículas), y tipo de mineral, que se sabe que afectan la resistencia del concreto en varios grados. Frecuentemente, el efecto de las características del agregado en la resistencia del concreto puede ubicarse en un cambio de la relación agua/cemento, además, por consideraciones teóricas puede anticiparse que, independientemente de la relación agua/cemento, el tamaño, la forma, la textura de la superficie y el tipo de mineral de las partículas del agregado influirán en las características de la zona de transición y, por lo tanto, afectaran la resistencia del concreto.

Agua de mezclado. Las impurezas en el agua utilizada para mezclar el concreto, cuando son excesivas, pueden afectar no solo a la resistencia del concreto sino también al tiempo de fraguado, la eflorescencia (deposito de sales blancas en la superficie del concreto), y la corrosión del acero de refuerzo o del acero de preesfuerzo.

En general, el agua de mezclado raramente es un factor en la resistencia del concreto, por que en muchas especificaciones para elaborar mezclas de concreto, la calidad del agua esta protegida por una cláusula que establece que el agua deberá ser adecuada para el consumo Humano.

Aditivos. La influencia adversa de los aditivos inclusores de aire en la resistencia del concreto ya ha analizado. A una relación dada de agua/cemento, la presencia de aditivos reductores de agua en el concreto tiene generalmente una influencia positiva en la velocidad de hidratación del

cemento y en el desarrollo de la resistencia inicial. Los aditivos capaces de acelerar o de retardar la hidratación del cemento, obviamente tendrá una gran influencia en la velocidad de adquisición de resistencia; las resistencias últimas no son afectadas significativamente. Sin embargo, muchos investigadores han señalado la tendencia hacia una resistencia última mayor del concreto, cuando la velocidad de adquisición de resistencia a edades tempranas fue retardada.

Condiciones de curado. El término curado de concreto se refiere a los procedimientos dedicados a promover la hidratación del cemento, que consisten en el control del tiempo, la temperatura y las condiciones de humedad, inmediatamente después de la colocación de una mezcla de concreto en la cimbra.

A una relación dada de agua/cemento, la porosidad de una pasta de cemento hidratada se determina por el grado de hidratación del cemento. En condiciones normales de temperatura, algunos de los componentes constitutivos del cemento portland comienzan a hidratarse en cuanto se agrega el agua, pero las reacciones de la hidratación se desaceleran considerablemente cuando los productos de la hidratación cubren los granos del cemento anhidro. Esto se debe a que la hidratación puede proceder satisfactoriamente solo bajo condiciones de saturación; casi se detiene cuando la presión del vapor de agua en las capilaridades cae abajo del 80 por ciento de la humedad de saturación. El tiempo y la humedad son por lo tanto factores importantes en el proceso de hidratación controlada por la difusión del agua. Además como todas las reacciones químicas, el aumento de la temperatura tiene un efecto acelerador en las reacciones de hidratación.

Parámetros de prueba. No siempre se aprecia que los resultados de las pruebas de la resistencia del concreto sean afectados significativamente por los parámetros que involucran a los especímenes de prueba y a las condiciones de carga. Los parámetros de los especímenes incluyen la influencia del tamaño, la geometría y el estado de humedad del concreto; los parámetros de carga incluyen el nivel y la duración del esfuerzo y la velocidad a la cual se aplica el esfuerzo.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES..

Las dos formas geométricas que normalmente se utilizan en los especímenes que se elaboran para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, son la cúbica y la cilíndrica. El cubo es utilizado en varios países de Europa y en otros lugares donde se aplican las normas Europeas, mientras que en Estados Unidos, Canadá, y también en Perú, se emplean los especímenes cilíndricos con altura igual al doble del diámetro. La resistencia a la compresión del concreto obtenida en cilindro es del orden del 80% de la que se obtiene en cubo, este porcentaje es solo aproximado debido a que varía con el grado de resistencia del concreto.

Para definir dimensiones de los cilindros de prueba, la norma NTP 339.034 (ASTM C 192) relativa a especímenes de laboratorio, se establece que el tamaño máximo de agregado, pero también se indica que el tamaño máximo de agregado, pero también se indica que el espécimen cilíndrico mínimo permisible es el de 51mm (2") de diámetro y 102 mm (4") de altura. Por su parte, la norma ASTM C 31 correspondiente a cilindros en obra, señala que el cilindro mínimo permisible es el de 152 mm (6") de diámetro y 304 mm (12") de altura, al cual considera como espécimen estándar para todo concreto cuyo tamaño máximo de agregado no exceda a 51 mm (2"), y que para agregados mayores deben utilizarse cilindros de prueba cuyo diámetro sea por lo menos el triple del tamaño máximo del agregado. Debido a la continua necesidad de relacionar los resultados de laboratorio con los de obra, lo usual es que el cilindro de 152 x 304 mm (6" x 12") se admita como estándar en ambos casos, para concretos con gravas hasta 51 mm (2") de tamaño máximo. En el presente estudio se utilizarán los especímenes estándar, debido a las características del agregado grueso.

En la construcción de grandes centrales eléctricas, y en especial hidroeléctricas, es relativamente frecuente el uso de concretos con gravas de tamaño mayor a 51 mm (2"), de modo que para cumplir con la condición antes mencionada se hace necesario elaborar especímenes cilíndricos de gran tamaño y peso que son de difícil manejo y costosos para la determinación rutinaria de la resistencia a la compresión durante la producción del concreto; a lo cual habría que añadir la necesidad de disponer en obra de una máquina

de ensayo capaz de aplicar las grandes cargas requeridas para llevar hasta la rotura estos especímenes.

Para evitar estas dificultades, un procedimiento usual consiste en cribar el concreto húmedo por una malla de 38mm (1 ½") de abertura, con objeto de desechar las gravas mayores y utilizar el concreto cribado para elaborar cilindros estándar de 152 x 304 mm, cuyas resistencias se correlacionan experimentalmente con las obtenidas en cilindros del tamaño adecuado elaborados con el concreto integral (sin cribar). De esta manera, la determinación rutinaria de la resistencia a la compresión del concreto durante la producción se lleva a cabo en cilindros estándar de 152 x 304mm, hechos de concreto cribado, y sus resultados se interpretan y evalúan mediante el uso de un factor de correlación correspondiente.

CONDICIONES NORMALES DE PRUEBA.

Así como se reglamentan las características geométricas y dimensiones de los especímenes, también es necesario reglamentar todos los aspectos relacionados con su elaboración, conservación (curado), preparación y ensayo, a fin de evitar su influencia como factores de variación de la resistencia. Así, las resistencias que se obtienen bajo condiciones de prueba invariables, pueden ser evaluadas, comparadas o correlacionadas conforme se requiere.

a) Fabricación y curado de los especímenes

Es usual que se relacionen las resistencias a compresión que se obtienen en especímenes extraídos de la estructura, con las obtenidas en especímenes estándar elaborados en laboratorio o en el campo . sin embargo, debido a diferencias sustanciales que existen en las condiciones como se obtienen y curan los especímenes en ambos casos, dicha relación resulta incierta, por cuyo motivo es pertinente deslindar sus respectivas funciones y campos de aplicación.

Los especímenes estándar que obtienen mediante muestreo del concreto recién elaborados representan las cualidades potenciales del concreto como se produce, y por ello deben ser fabricados y curados en condiciones invariables para que sus resultados puedan ser cotejados con los requisitos de resistencia especificados en la obra . una variable la constituyen los especímenes

estándar que también se obtiene del concreto en estado fresco pero se curan en las mismas condiciones de la estructura que representan, con el fin de aproximarse a la situación que guarda en este aspecto el concreto colocado. En este caso, la resistencia de los especímenes curados en el sitio de la estructura se destinan a funciones tales como la definición de la edad a la que se pueden retirar las cimbras soportantes, el establecimiento de relaciones resistencia–edad y para comprobar la eficacia del sistema de protección y curado que se aplica a la estructura, considerando que el sistema es aceptable si los especímenes curados en el sitio producen una resistencia igual o mayor que el 85 % de la resistencia producida por especímenes compañeros curados en el laboratorio.

La norma NTP 339.034 (ASTM C 192), que establece los parámetros de elaboración y curado de especímenes estándar en el laboratorio, especifica el llenado de moldes en capas de igual espesor, compactadas con varillas o por vibración según revenimiento; para el curado especifica que las primeras 24 horas los especímenes permanecerán en los moldes, protegidos de la evaporación y a una temperatura de 23 ± 2 °C, posteriormente se colocan los especímenes inmersos en agua saturada de cal, o en un ambiente con humedad relativa de 95% como mínimo, a 23 ± 2 °C de temperatura.

b) Preparación y ensayo de los especímenes

En sus aspectos esenciales, los requisitos de las condiciones de prueba para los especímenes de prueba cilíndricos de concreto, en lo que se refiere a su preparación y ensayo, son prácticamente iguales para los especímenes que se fabrican en moldes estándar y para los que se extraen de las estructuras.

En cuanto a la preparación de los especímenes cilíndricos, es de particular importancia el acondicionamiento de las superficies de las cabezas, a través de las cuales se trasmite las cargas de compresión, a fin de eliminar defectos que puedan producir concentraciones de esfuerzos en el espécimen y hacerlo fallar de manera irregular. En este aspecto hay dos factores cuya influencia es decisiva y que por ello se reglamentan con precisión: la planicidad de las superficies y su perpendicularidad con el eje del cilindro. La norma ASTM C 39 establece que, para considerarlas aceptables, estas superficies no deben presentar desviaciones mayores de 0.05 mm en una distancia de 152 mm (diámetro de un cilindro estándar) al ser conformadas con una regla

perfectamente recta en cualquier dirección; y que su perpendicularidad con el eje del cilindro no debe diferir más de 0.5" con respecto al ángulo de 90°, lo que significa una desviación máxima permisible de 3.2mm en una distancia de 305 mm que es la altura del cilindro estándar.

Para conseguir que las superficies de las cabezas de los especímenes cilíndricos cumplan con estos requisitos, suelen emplearse dos procedimientos consistentes en pulirlas con una piedra esmeril de características apropiadas, o recubrir las con una delgada capa (alrededor de 3 mm de espesor) de pasta de cemento, masilla de yeso de alta resistencia, o un compuesto de azufre fundido. La norma ASTM C 617 define los requisitos que deben cumplirse cuando se emplea el segundo procedimiento, esto es el recubrimiento de las cabezas del cilindro con una capa de alguno de estos tres materiales. La pasta de cemento se utiliza en los cilindros recién moldeados, es decir, se aplica al concreto en estado fresco; en tanto que el yeso de alta resistencia y el azufre fundido se utilizan en los especímenes de concreto endurecido, sean estos cilindros estándar elaborados del concreto fresco o especímenes extraídos de las estructuras.

Una vez acondicionadas las cabezas de los especímenes dentro de las tolerancias de planicidad y perpendicularidad especificadas, debe procederse a aplicarles una carga axial de compresión creciente hasta su ruptura; la carga máxima que se alcanza dividida entre la sección transversal del espécimen corresponde al esfuerzo máximo aplicado que define la resistencia del concreto a compresión simple.

Al igual que todos los aspectos previos, el proceso de aplicación de carga debe efectuarse bajo condiciones reglamentadas para evitar la influencia de los factores cuya variación puede afectar los resultados. Entre dichos factores destacan las características de la máquina de ensayo, las condiciones de humedad del espécimen de concreto y la velocidad con que se incrementa la carga, todos los cuales se encuentran especificados en la norma ASTM C 39 debido a la importancia de sus efectos.

El grado de humedad del concreto en el momento de ser ensayado tiene influencia en su comportamiento bajo carga, ya que la presencia de agua en los poros de la pasta de cemento hidratada reduce su resistencia mecánica a compresión, con respecto a la misma pasta en condición seca.

Consecuentemente, conforme disminuye por evaporación el grado de humedad de un espécimen de concreto originalmente saturado, tiende a ser mayor la carga requerida para provocar la ruptura del mismo, es decir, se incrementa la resistencia a la compresión aparente del concreto.

Por tanto, es preciso definir el estado de humedad en que deben ensayarse los especímenes de concreto, de acuerdo con la finalidad del ensayo.

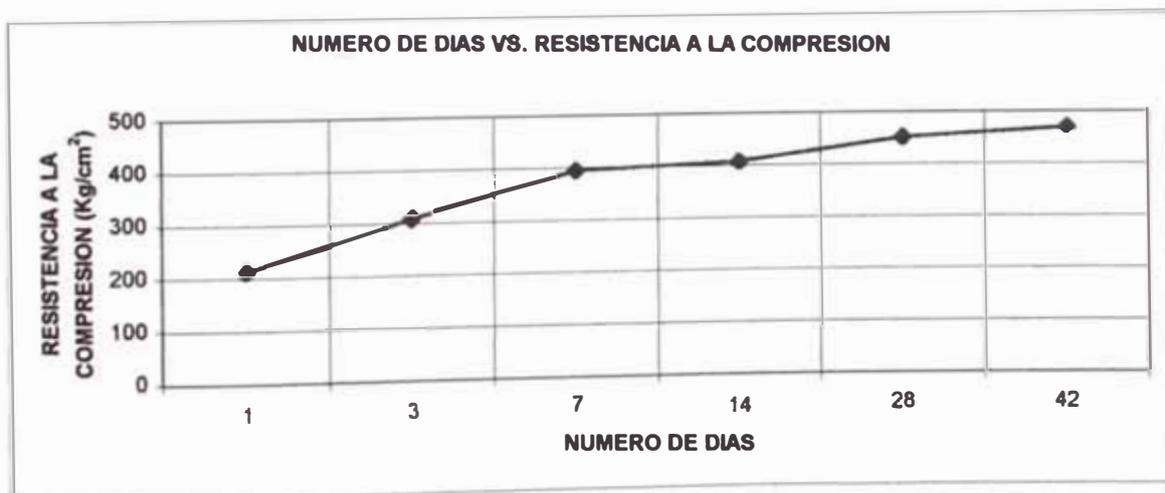
Así, cuando se trata de ensayar especímenes estándar curados en húmedo y cuyos resultados son la base de aceptación del concreto, deben tomarse las medidas necesarias para ensayarlos conforme lo previsto por el método de prueba, a fin de que todos los especímenes se ensayen con el mismo grado de humedad, lo mas cercano a la saturación que sea posible.

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados que consisten en datos obtenidos en laboratorio, de identificación de probeta, diámetro de la probeta con el cual se calcula el área, luego los datos obtenidos cuando son sometidos a carga de los datos anteriores obtenidos se calcula la resistencia a la compresión de dicha probeta, cabe recalcar se tuvo mucho cuidado en la identificación de las probetas para su identificación correcta y evitar posteriores confusiones.

Cuadro 8.3.1.1. Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – Patrón

EDAD	PROBETA	DIAMETRO (cm)	AREA (cm ²)	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)	DESVIACION ESTANDAR
1 DIA	M1	10.10	80.12	17400	217.178	212.950	4.604
	M2	10.30	83.32	17800	213.626		
	M3	10.20	81.71	17000	208.045		
3 DIAS	M1	10.20	81.71	24800	303.501	308.396	4.239
	M2	10.20	81.71	25400	310.844		
	M3	10.20	81.71	25400	310.844		
7 DIAS	M1	10.20	81.71	31900	390.391	394.570	4.703
	M2	10.25	82.52	32400	392.651		
	M3	10.10	80.12	31200	389.422		
	M4	10.35	84.13	33200	394.609		
	M5	10.15	80.91	32400	400.426		
	M6	10.25	82.52	33000	399.922		
14 DIAS	M1	10.15	80.91	33000	407.841	407.222	4.317
	M2	10.20	81.71	32900	402.629		
	M3	10.20	81.71	33600	411.195		
28 DIAS	M1	10.35	84.13	37700	448.095	451.480	5.329
	M2	10.40	84.95	38000	447.328		
	M3	10.40	84.95	38300	450.859		
	M4	10.40	84.95	38100	448.505		
	M5	10.17	81.23	37500	461.635		
	M6	10.30	83.32	37700	452.456		
42 DIAS	M1	10.33	83.81	39400	470.116	469.291	5.611
	M2	10.48	86.26	40000	463.710		
	M3	10.23	82.19	38700	470.835		
	M4	10.10	80.12	37800	471.800		
	M5	10.20	81.71	39000	477.280		
	M6	10.22	82.03	37900	462.005		

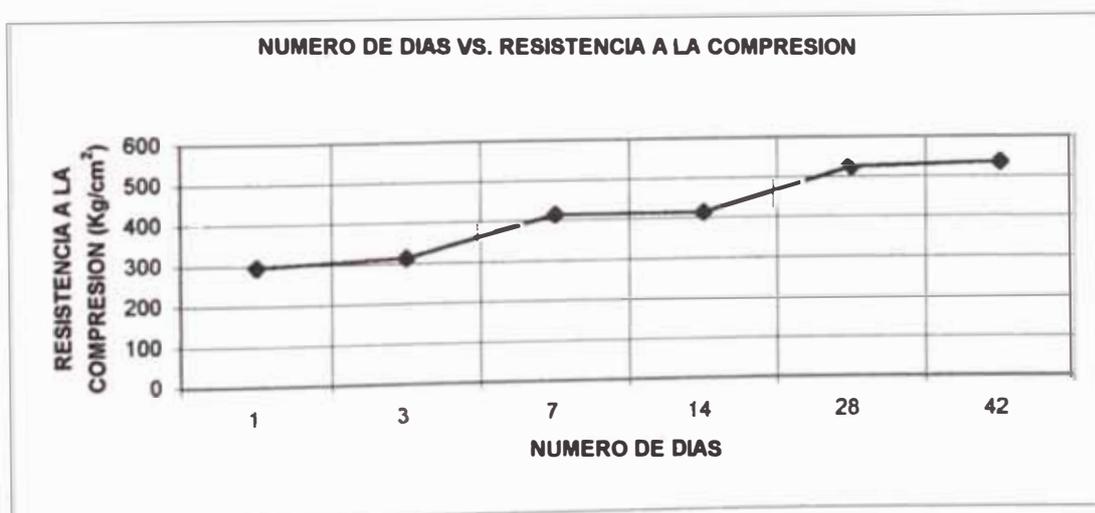
Grafico 8.3.1.1. Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – Patrón



Cuadro 8.3.1.2. Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – 0.4% Aditivo

EDAD	PROBETA	DIAMETRO (cm)	AREA (cm ²)	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)	DESVIACION ESTANDAR
1 DIA	M1	10.25	82.52	24100	292.064	294.833	2.541
	M2	10.10	80.12	23800	297.059		
	M3	10.15	80.91	23900	295.376		
3 DIAS	M1	10.25	82.52	26000	315.090	312.673	2.778
	M2	10.20	81.71	25600	313.292		
	M3	10.30	83.32	25800	309.638		
7 DIAS	M1	10.25	82.52	34700	420.524	413.793	5.522
	M2	10.30	83.32	34900	418.852		
	M3	10.20	81.71	33700	412.419		
	M4	10.10	80.12	33300	415.634		
	M5	10.05	79.33	32400	408.434		
	M6	10.10	80.12	32600	406.897		
14 DIAS	M1	10.45	85.77	35500	413.909	414.138	1.019
	M2	10.25	82.52	34100	413.253		
	M3	10.30	83.32	34600	415.251		
28 DIAS	M1	10.20	81.71	42900	525.008	524.295	4.107
	M2	10.30	83.32	44000	528.065		
	M3	10.10	80.12	42000	524.222		
	M4	10.20	81.71	43200	528.680		
	M5	10.25	82.52	42700	517.475		
	M6	10.25	82.52	43100	522.322		
42 DIAS	M1	10.30	83.32	44600	535.266	535.817	3.780
	M2	10.20	81.71	43500	532.351		
	M3	10.20	81.71	44100	539.694		
	M4	10.15	80.91	43700	540.080		
	M5	10.25	82.52	43800	530.806		
	M6	10.10	80.12	43000	536.704		

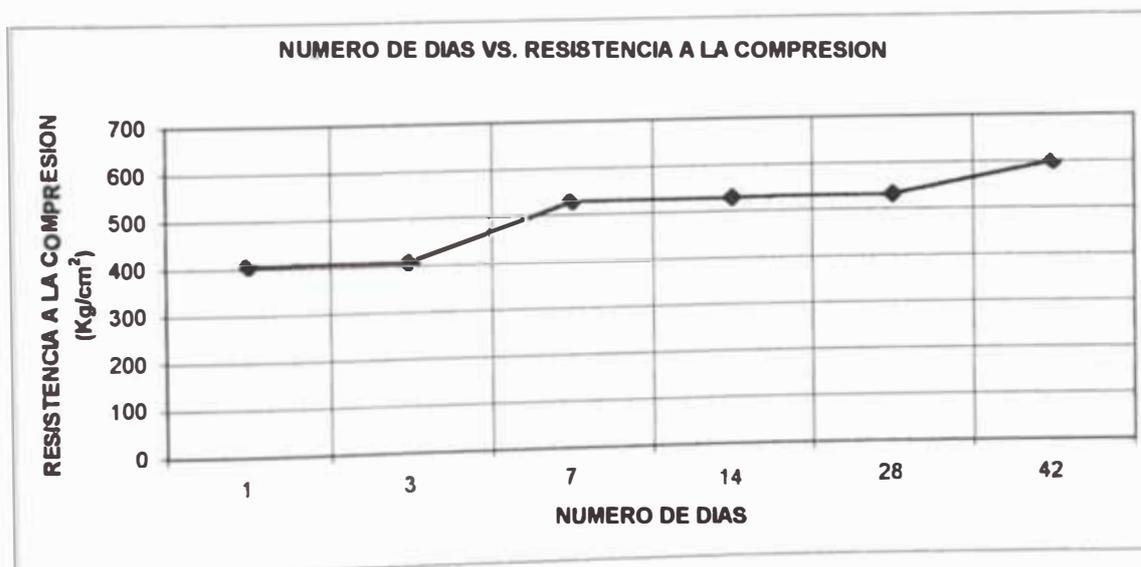
Grafico 8.3.1.2. Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – 0.4% Aditivo



Cuadro 8.3.1.3. Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – 0.8% Aditivo

EDAD	PROBETA	DIAMETRO (cm)	AREA (cm ²)	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)	DESVIACION ESTANDAR
1 DIA	M1	10.45	85.77	35200	410.411	406.142	5.745
	M2	10.25	82.52	33700	408.405		
	M3	10.05	79.33	31700	399.610		
3 DIAS	M1	10.10	80.12	32800	409.393	408.354	2.636
	M2	10.15	80.91	33200	410.313		
	M3	10.50	86.59	35100	405.357		
7 DIAS	M1	10.30	83.32	44000	528.065	528.331	3.312
	M2	10.20	81.71	42900	525.008		
	M3	10.30	83.32	44100	529.265		
	M4	10.10	80.12	42000	524.222		
	M5	10.10	80.12	42500	530.463		
	M6	10.10	80.12	42700	532.960		
14 DIAS	M1	10.20	81.71	43400	531.127	529.505	3.075
	M2	10.15	80.91	43000	531.429		
	M3	10.25	82.52	43400	525.958		
28 DIAS	M1	10.29	83.16	44900	539.914	532.163	6.473
	M2	10.35	84.13	45000	534.861		
	M3	10.20	81.71	43300	529.903		
	M4	10.50	86.59	45500	525.463		
	M5	10.50	86.59	46600	538.166		
	M6	10.45	85.77	45000	524.673		
42 DIAS	M1	10.05	79.33	48300	608.869	599.568	5.649
	M2	10.45	85.77	51200	596.962		
	M3	10.15	80.91	48000	593.223		
	M4	10.35	84.13	50200	596.667		
	M5	10.25	82.52	49800	603.519		
	M6	10.15	80.91	48400	598.167		

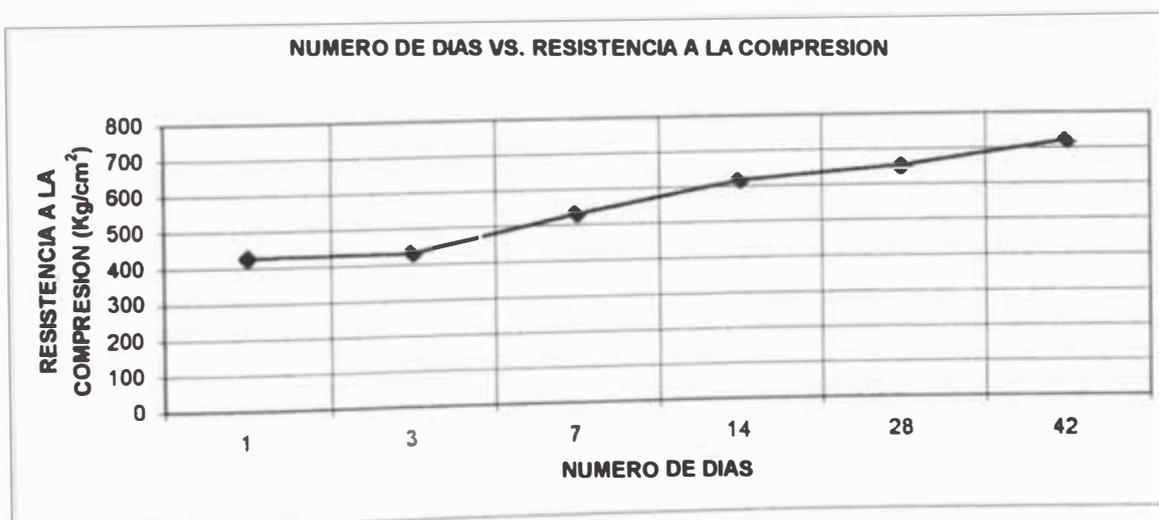
Grafico 8.3.1.3. Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – 0.8% Aditivo



Cuadro 8.3.1.4. Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – 1.2% Aditivo

EDAD	PROBETA	DIAMETRO (cm)	AREA (cm ²)	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)	DESVIACION ESTANDAR
1 DIA	M1	10.20	81.71	34700	424.657	427.688	2.979
	M2	10.10	80.12	34500	430.611		
	M3	10.25	82.52	35300	427.795		
3 DIAS	M1	10.50	86.59	37000	427.299	431.534	3.712
	M2	10.50	86.59	37500	433.074		
	M3	10.50	86.59	37600	434.229		
7 DIAS	M1	10.05	79.33	42500	535.755	532.545	3.315
	M2	10.10	80.12	42200	526.719		
	M3	10.25	82.52	44000	533.229		
	M4	10.35	84.13	45000	534.861		
	M5	10.15	80.91	43200	533.901		
	M6	10.25	82.52	43800	530.806		
14 DIAS	M1	10.25	82.52	50900	616.849	617.792	4.636
	M2	10.10	80.12	49900	622.826		
	M3	10.00	78.54	48200	613.700		
28 DIAS	M1	10.07	79.64	53100	666.722	654.624	6.201
	M2	10.10	80.12	52000	649.037		
	M3	10.10	80.12	52200	651.534		
	M4	10.05	79.33	51900	654.251		
	M5	10.20	81.71	53400	653.507		
	M6	10.12	80.44	52500	652.691		
42 DIAS	M1	10.50	86.59	62600	722.944	722.066	3.319
	M2	10.17	81.23	58700	722.612		
	M3	10.10	80.12	57800	721.430		
	M4	10.25	82.52	60000	727.131		
	M5	10.35	84.13	60700	721.468		
	M6	10.15	80.91	58000	716.812		

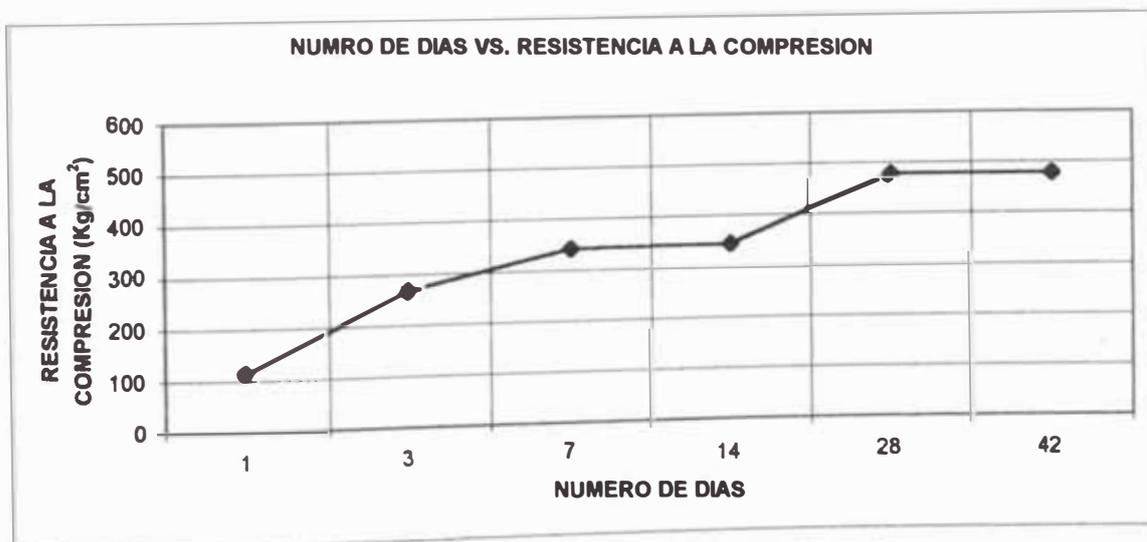
Grafico 8.3.1.4. Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo I – 1.2% Aditivo



**Cuadro 8.3.1.5. Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo V
Patrón**

EDAD	PROBETA	DIAMETRO (cm)	AREA (cm ²)	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)	DESVIACION ESTANDAR
1 DIA	M1	10.20	81.71	9400	115.037	114.260	1.346
	M2	10.25	82.52	9300	112.705		
	M3	10.20	81.71	9400	115.037		
3 DIAS	M1	10.20	81.71	22400	274.130	268.895	5.392
	M2	10.43	85.44	23000	269.196		
	M3	10.10	80.12	21100	263.359		
7 DIAS	M1	10.20	81.71	28000	342.663	341.806	4.969
	M2	10.20	81.71	27500	336.544		
	M3	10.25	82.52	27900	338.116		
	M4	10.15	80.91	28000	346.047		
	M5	10.25	82.52	28800	349.023		
	M6	10.30	83.32	28200	338.442		
14 DIAS	M1	10.49	86.43	30000	347.120	345.069	4.746
	M2	10.40	84.95	29600	348.445		
	M3	10.30	83.32	28300	339.642		
28 DIAS	M1	10.25	82.52	39800	482.330	478.293	4.195
	M2	10.40	84.95	40500	476.757		
	M3	10.15	80.91	38100	470.871		
	M4	10.20	81.71	39200	479.728		
	M5	10.10	80.12	38600	481.785		
	M6	10.15	80.91	38700	478.286		
42 DIAS	M1	10.15	80.91	38800	479.522	478.640	3.211
	M2	10.30	83.32	39900	478.859		
	M3	10.20	81.71	39300	480.952		
	M4	10.15	80.91	38300	473.343		
	M5	10.10	80.12	38200	476.793		
	M6	10.12	80.44	38800	482.369		

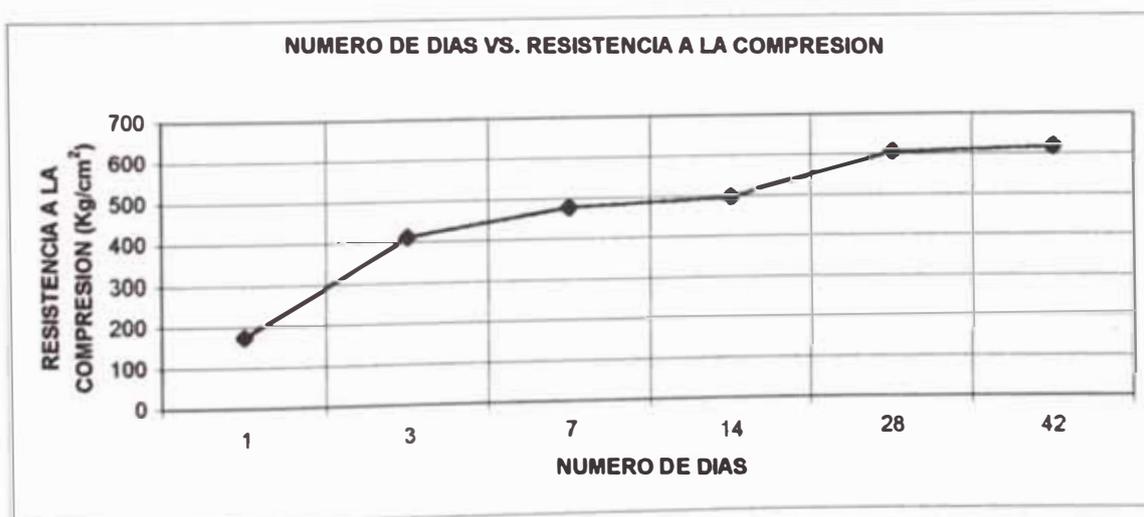
**Grafico 8.3.1.5. Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo V -
Patrón**



Cuadro 8.3.1.6. Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo V – 0.4% Aditivo

EDAD	PROBETA	DIAMETRO (cm)	AREA (cm ²)	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)	DESVIACION ESTANDAR
1 DIA	M1	10.15	80.91	14000	173.023	175.159	4.111
	M2	10.20	81.71	14700	179.898		
	M3	10.20	81.71	14100	172.555		
3 DIAS	M1	10.35	84.13	35000	416.003	411.465	4.086
	M2	10.15	80.91	33200	410.313		
	M3	10.45	85.77	35000	408.079		
7 DIAS	M1	10.10	80.12	38300	478.041	477.459	4.137
	M2	10.20	81.71	39300	480.952		
	M3	10.53	87.09	41000	470.800		
	M4	10.10	80.12	38400	479.289		
	M5	10.35	84.13	40500	481.375		
	M6	10.10	80.12	38000	474.297		
14 DIAS	M1	10.20	81.71	40800	499.308	494.801	4.301
	M2	10.15	80.91	40000	494.353		
	M3	10.20	81.71	40100	490.742		
28 DIAS	M1	10.20	81.71	49800	609.450	603.907	5.359
	M2	10.10	80.12	47700	595.367		
	M3	10.25	82.52	49700	602.307		
	M4	10.05	79.33	47900	603.827		
	M5	10.00	78.54	47900	609.880		
	M6	10.35	84.13	50700	602.610		
42 DIAS	M1	10.20	81.71	50000	611.898	616.376	4.758
	M2	10.35	84.13	51900	616.873		
	M3	10.15	80.91	50500	624.120		
	M4	10.15	80.91	50100	619.177		
	M5	10.15	80.91	49500	611.762		
	M6	10.47	86.10	52900	614.429		

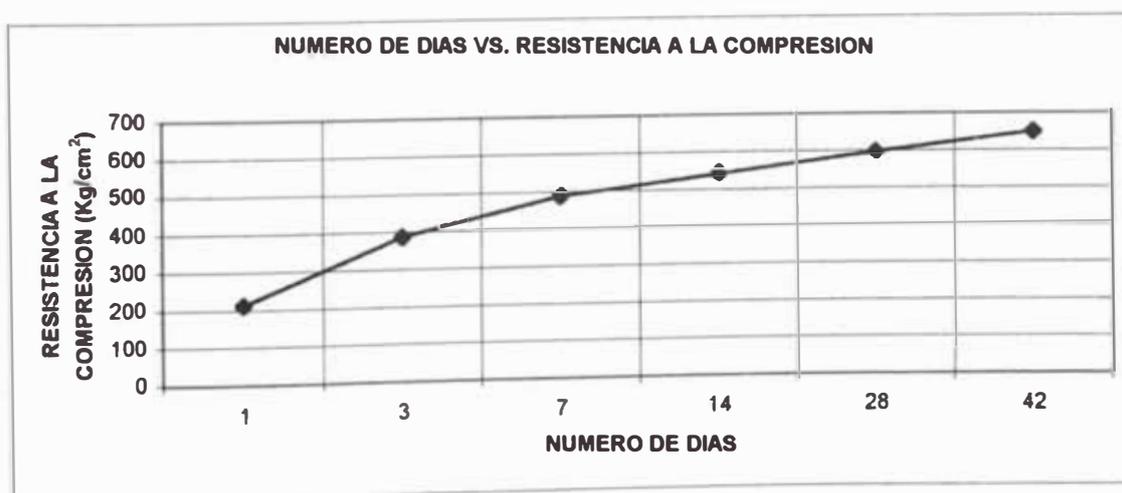
Grafico 8.3.1.6. Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo V – 0.4% Aditivo



Cuadro 8.3.1.7. Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo V – 0.8% Aditivo

EDAD	PROBETA	DIAMETRO (cm)	AREA (cm ²)	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)	DESVIACION ESTANDAR
1 DIA	M1	10.20	81.71	17300	211.717	212.642	4.152
	M2	10.10	80.12	17400	217.178		
	M3	10.50	86.59	18100	209.030		
3 DIAS	M1	10.10	80.12	30800	384.430	387.067	5.158
	M2	10.40	84.95	32600	383.760		
	M3	10.15	80.91	31800	393.010		
7 DIAS	M1	10.00	78.54	38000	483.830	487.222	4.833
	M2	10.05	79.33	38100	480.288		
	M3	10.45	85.77	41800	487.363		
	M4	10.10	80.12	39100	488.026		
	M5	10.15	80.91	39600	489.409		
	M6	10.40	84.95	42000	494.415		
14 DIAS	M1	10.30	83.32	45100	541.267	540.295	5.120
	M2	10.48	86.26	47000	544.859		
	M3	10.00	78.54	42000	534.759		
28 DIAS	M1	10.20	81.71	49000	599.660	596.952	5.589
	M2	10.15	80.91	47400	585.808		
	M3	10.35	84.13	50300	597.856		
	M4	10.15	80.91	48600	600.639		
	M5	10.30	83.32	50000	600.074		
	M6	10.30	83.32	49800	597.673		
42 DIAS	M1	10.10	80.12	52000	649.037	650.148	4.743
	M2	10.05	79.33	51200	645.427		
	M3	10.25	82.52	53500	648.358		
	M4	10.10	80.12	52300	652.782		
	M5	10.30	83.32	53900	646.880		
	M6	10.20	81.71	53800	658.402		

Grafico 8.3.1.7. Ensayo de resistencia a la compresión, Cemento Tipo V – 0.8% Aditivo



8.3.2. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL NTP-339.084

El concreto 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 (tracción) 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 le confiere el carácter de cuerpo anisótropo. De tal modo al considerar que la ruptura del concreto se puede asociar a una deformación límite, resulta explicable el hecho de que su capacidad para resistir esfuerzos a tensión sea considerablemente menor que a compresión.

En concordancia con esta limitación al diseñar las estructuras se procura que el concreto no trabaje a tensión directa; sin embargo, casi siempre es inevitable que el concreto en la estructura deba soportar ciertos esfuerzos a tensión, 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 temperatura, en condiciones que las restringen.

De igual manera que la resistencia del concreto a compresión, la de tensión también depende de las resistencias a tensión propias de la pasta de cemento y los agregados, y de la adherencia que se genera entre ambos, 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.

1. Prueba de tensión directa, promedio del ensayo de especímenes cilíndricos o prismáticos, sometidos a una fuerza de tensión axial.
2. Prueba de tensión indirecta, mediante el ensayo de especímenes cilíndricos, sujeto a la aplicación de una carga de compresión diametral.
3. Prueba de tensión por flexión en especímenes prismáticos (vigas), ensayados opcionalmente con una carga concentrada en el centro del claro, o con dos cargas concentradas iguales aplicadas en los tercios del claro.

La determinación de la resistencia a tensión (tracción) del concreto puede conducir a resultados diferentes, según el procedimiento que se utilice para

medirla: en condiciones comprobables, la prueba de tensión directa produce el valor de resistencia as bajo y la prueba por flexión el mas alto, quedando en una posición intermedia la resistencia a tensión determinada por compresión diametral. No ocurre así cuando se trata de evaluar la resistencia a la compresión, para cuya determinación solo se dispone de un procedimiento normalizado de aceptación general.

En nuestro caso utilizaremos el segundo procedimiento de ensayo puesto que es el mas sencillo y el mas compatible para nuestro estudio dicho procedimiento nos ayudara a determinar cuanta variación en la resistencia a la tracción se origina tras el uso de diferentes dosis de aditivo, con respecto a nuestro concreto patrón, en un mismo lapso de tiempo.

Este procedimiento consiste en ensayar un espécimen cilíndrico en posición horizontal, sometiéndolo ala acción de dos fuerzas opuestas de compresión uniformemente distribuidas a lo largo de las generatrices contenidas en su plano vertical de simetría. En la vecindad del sitio de paliación de la carga se generan esfuerzos de compresión de gran magnitud, pero en el resto de la sección del cilindro, en una amplitud que abarca aproximadamente el 80% de su diámetro, se producen esfuerzos de tensión prácticamente uniformes.

A fin de reducir la concentración de esfuerzos de compresión que se producen a lo largo de las generatrices en que se aplican las cargas, se interponen dos tipos de material compresible (generalmente madera laminada) entre la superficie del concreto del espécimen y las placas de piezas metálicas que transmiten las cargas. De esta manera se evita la ruptura del cemento por aplastamiento en la zona de contacto y se consigue que el espécimen falle por efecto de los esfuerzos de tensión, según una superficie de falla normal a estos, que corresponde sensiblemente al plano vertical en que actúan las cargas.

La determinación de la resistencia a la tracción del concreto por este procedimiento es relativamente sencilla y rápida, y sus resultados suelen mostrar una aceptable uniformidad y reproducibilidad. El procedimiento se encuentra reglamentado como prueba estándar en la norma NTP-339.084 Y ASTM C-496, que es aplicable a especímenes cilíndricos elaborados normalmente y a núcleos de concreto extraídos de las estructuras.

Conforme al método de prueba citado, los especímenes se cargan a una velocidad uniforme de entre 7 y 14 kg/cm²/s, que para el caso de un cilindro estándar de 15x30cm se traduce en velocidad de entre 5 y 10 ton/min.

El esfuerzo de ruptura f_t en kg/cm², que define la resistencia del cemento a la tensión, se calcula por la siguiente expresión:

$$F_t = 2xp / (\pi \times l \times d)$$

En donde p es la carga máxima aplicada en Kg., en tanto que l y d corresponde a la longitud y el diámetro del espécimen en cm respectivamente.

En el concreto normal, la pérdida de humedad de los especímenes antes del ensayo se traduce en un cierto aumento de la resistencia a tensión indirecta, pero en el concreto hecho con agregados ligeros suele ocurrir lo contrario, es por esto que el método de prueba establece que los especímenes se ensayen en condiciones de humedad tales que no produzcan resultados sobrevaluados, de la misma manera requiere que los concretos normales se ensayen saturados y los ligeros, cuando se ensayen a 28 días, deben saturarse en húmedo por 7 días y los 21 restantes deben permanecer secándose en un ambiente con 50% de humedad relativa.

La resistencia en la tensión del concreto obtenida por este procedimiento tiende a dar valores un poco más altos que los de tensión directa, lo cual suele atribuirse a: que la distribución no uniforme de esfuerzos en la sección de falla en la prueba indirecta restringe la propagación de las grietas y con ello se incrementa la carga de ruptura del espécimen; y que en la prueba indirecta el cálculo del esfuerzo de ruptura de tensiones basa en dos suposiciones que lo simplifican pero no son del todo reales, es decir, que el concreto se comporta elásticamente y que en la sección de falla existe un estado plano de esfuerzos. Cuando se relaciona la resistencia a tensión por compresión diametral del concreto con su resistencia a compresión, se observa que la primera varía proporcionalmente con la raíz cuadrada de la segunda, si bien el factor de proporcionalidad puede diferir para cada concreto específico, en función primordial de las características de los agregados que se utilizan.

En virtud de no contar ya con material sólo se hicieron ensayos para el diseño patrón y el diseño 1.2% de aditivo a los 28 días de curado.

Cuadro 8.3.2.1.- Ensayo de compresión diametral, Cemento Tipo I, diseño patrón

Nº de muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga de rotura (kg)	Esfuerzo de tracción indirecto (kg/cm ²)	Esfuerzo de tracción indirecto (kg/cm ²) Promedio
1	15.00	30.30	27200	38.099	38.175
2	14.90	30.30	28600	40.329	
3	14.95	30.20	25600	36.097	

Cuadro 8.3.2.2.- Ensayo de compresión diametral, Cemento Tipo I, 1.2% de aditivo

Nº de muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga de rotura (kg)	Esfuerzo de tracción indirecto (kg/cm ²)	Esfuerzo de tracción indirecto (kg/cm ²) Promedio
1	14.90	30.20	35400	50.083	49.759
2	15.00	30.10	37400	52.734	
3	15.05	30.50	33500	46.461	

Cuadro 8.3.2.3.- Ensayo de compresión diametral, Cemento Tipo V, diseño patrón

Nº de muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga de rotura (kg)	Esfuerzo de tracción indirecto (kg/cm ²)	Esfuerzo de tracción indirecto (kg/cm ²) Promedio
1	15.05	30.15	33600	47.141	46.565
2	15.10	30.30	34400	47.865	
3	15.00	30.20	31800	44.690	

Cuadro 8.3.2.4.- Ensayo de compresión diametral, Cemento Tipo V, 1.2% aditivo

Nº de muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga de rotura (kg)	Esfuerzo de tracción indirecto (kg/cm ²)	Esfuerzo de tracción indirecto (kg/cm ²) Promedio
1	15.00	30.30	41000	57.429	57.585
2	15.00	30.30	42000	58.830	
3	15.00	30.50	40600	56.496	

Cuadro 8.3.2.5.- Ensayo de compresión diametral, Cemento Tipo IP, diseño patrón

Nº de muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga de rotura (kg)	Esfuerzo de tracción indirecto (kg/cm ²)	Esfuerzo de tracción indirecto (kg/cm ²) Promedio
1	15.00	30.35	28400	39.714	37.522
2	15.15	30.50	25700	35.408	
3	15.00	30.15	26600	37.444	

Cuadro 8.3.2.6.- Ensayo de compresión diametral, Cemento Tipo IP, 1.2% aditivo

Nº de muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga de rotura (kg)	Esfuerzo de tracción indirecto (kg/cm ²)	Esfuerzo de tracción indirecto (kg/cm ²) Promedio
1	15.10	30.45	34600	47.906	52.638
2	15.00	30.30	35400	49.585	
3	15.15	30.60	44000	60.423	

RESUMEN DE PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

Cuadro 8.3.2.7.- Propiedades del concreto endurecido, a/c = 045; CEMENTO TIPO I, V y IP; ADITIVO SIKA VISCOCRETE-3

TIPO DE CEMENTO	Diseño	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)								Resistencia a la tracción por compresión diametral(kg/cm ²)
		1 día	3 días	7 días	14 días	28 días	42 días			
I	Patrón =p	212.95	308.40	394.57	407.22	451.48	469.29			38.175
	P+0.4% aditivo	294.83	312.67	413.79	414.14	524.30	535.82			-
	P+0.8% aditivo	406.14	408.35	528.33	529.50	532.16	599.57			-
	P+1.2% aditivo	427.69	431.53	532.55	617.79	654.62	722.07			49.759
V	Patrón =p	114.26	268.90	341.81	345.07	478.29	478.64			46.565
	P+0.4% aditivo	175.16	411.47	477.46	494.80	603.91	616.38			-
	P+0.8% aditivo	212.64	387.07	487.22	540.30	596.95	650.15			-
	P+1.2% aditivo	249.64	466.25	540.83	719.11	725.52	729.93			57.585
IP	Patrón =p	159.39	267.05	336.00	369.04	379.60	400.92			37.522
	P+0.4% aditivo	226.55	294.60	366.09	375.57	494.23	507.87			-
	P+0.8% aditivo	280.10	378.16	512.14	514.34	515.17	564.96			-
	P+1.2% aditivo	361.81	420.99	540.44	705.03	732.83	739.67			52.638

Tesis: Estudio comparativo de los aditivos superplastificantes utilizados en nuestro medio e influencia en las propiedades del concreto con cemento tipo I, V y IP
 Bachiller Ing. Edgar S. Alarcón Hualpa; UNI-FIC 2005

Cuadro 8.3.2.8.- VARIACIÓN PORCENTUAL DE PROPIEDADES AL ESTADO ENDURECIDO (%), a/c = 045; CEMENTO TIPO I, V y IP; ADITIVO SIKAVISCOCRETE-3

TIPO DE CEMENTO	Diseño	Variación porcentual de Resistencia a la compresión (%)						Resistencia a la tracción por compresión diametral(%)
		1 día	3 días	7 días	14 días	28 días	42 días	
I	Patrón =p	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100
	P+0.4% aditivo	138.45	101.39	104.87	101.70	116.13	114.18	-
	P+0.8% aditivo	190.72	132.41	133.90	130.03	117.87	127.76	-
	P+1.2% aditivo	200.84	139.93	134.97	151.71	145.00	153.86	130.34
V	Patrón =p	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100
	P+0.4% aditivo	153.30	153.02	139.69	143.39	126.26	128.78	-
	P+0.8% aditivo	186.10	143.95	142.54	156.58	124.81	135.83	-
	P+1.2% aditivo	218.48	173.39	158.23	208.40	151.69	152.50	123.67
IP	Patrón =p	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100
	P+0.4% aditivo	142.14	110.32	108.96	101.77	130.20	126.68	-
	P+0.8% aditivo	175.74	141.61	152.42	139.37	135.72	140.92	-
	P+1.2% aditivo	227.00	157.64	160.85	191.05	193.05	184.49	140.29

Grafico 8.2.1.- Ensayo de resistencia a la compresión, cemento tipo I, diseño patrón, 0.4%, 0.8% y 1.2% de Aditivo

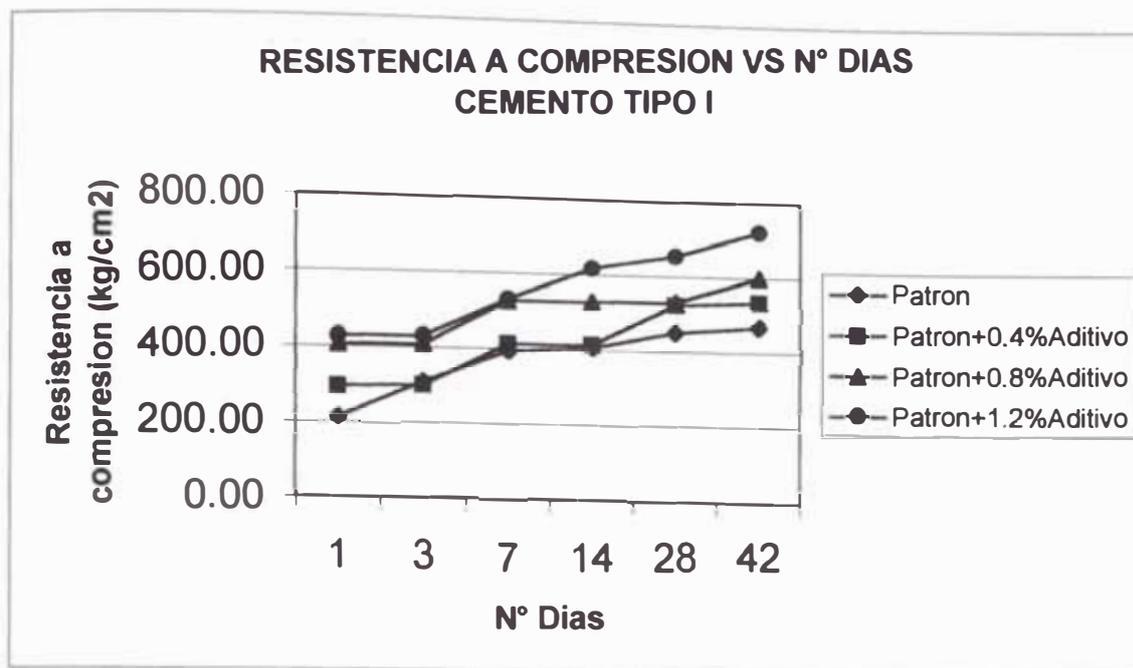


Grafico 8.2.2.- Ensayo de resistencia a la compresión, cemento tipo V, diseño patrón, 0.4%, 0.8% y 1.2% de Aditivo

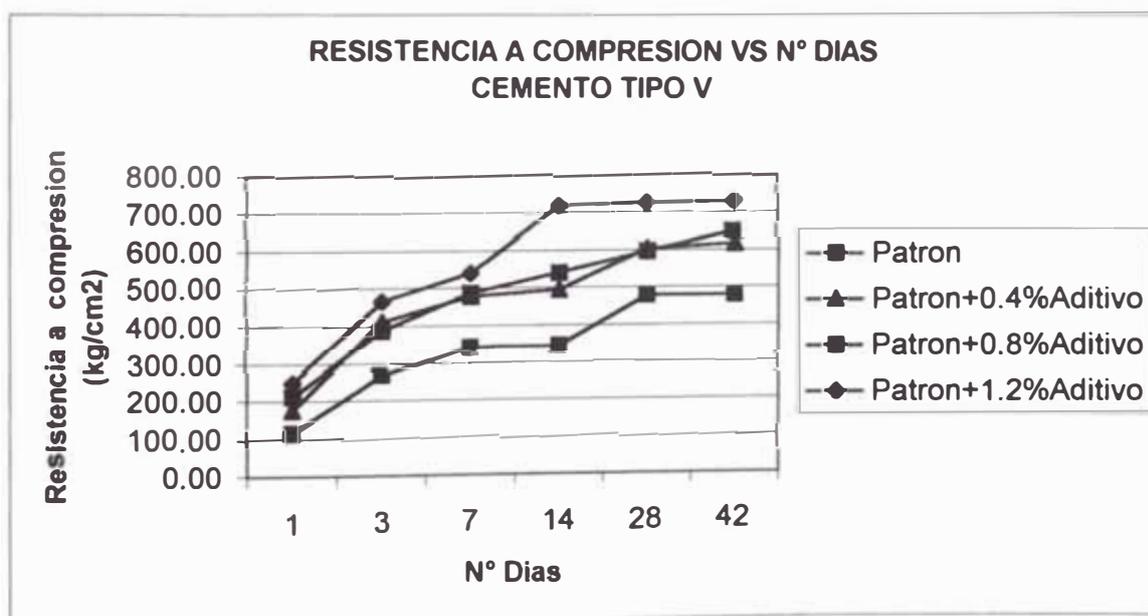


Grafico 8.2.3.- Ensayo de resistencia a la compresión, cemento tipo IP, diseño patrón, 0.4%, 0.8% y 1.2% de Aditivo

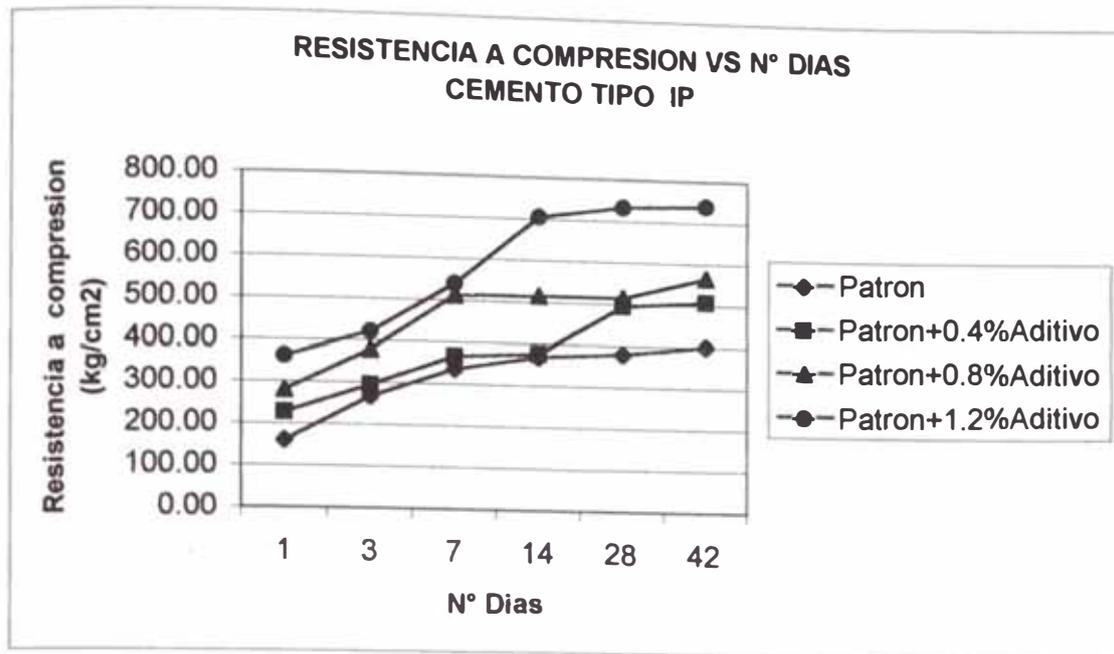


Grafico 8.2.4.- Ensayo de resistencia a la compresión, cemento tipo I, V y IP, diseño patrón

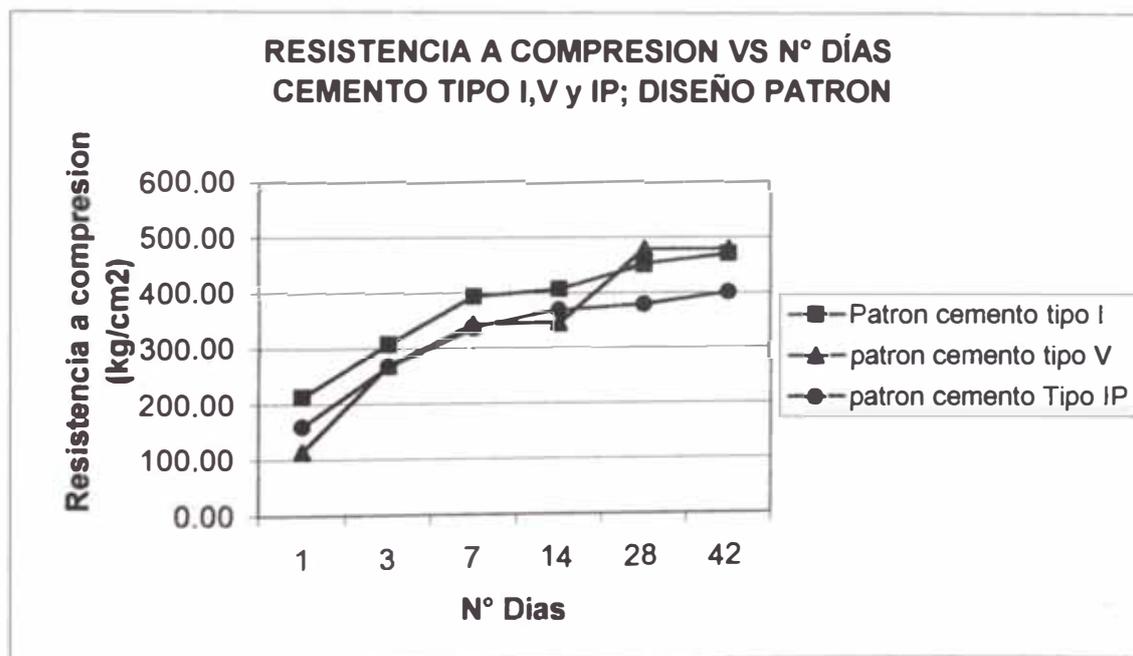


Grafico 8.2.5.- Ensayo de resistencia a la compresión, cemento tipo I, V y IP, 0.4% de aditivo

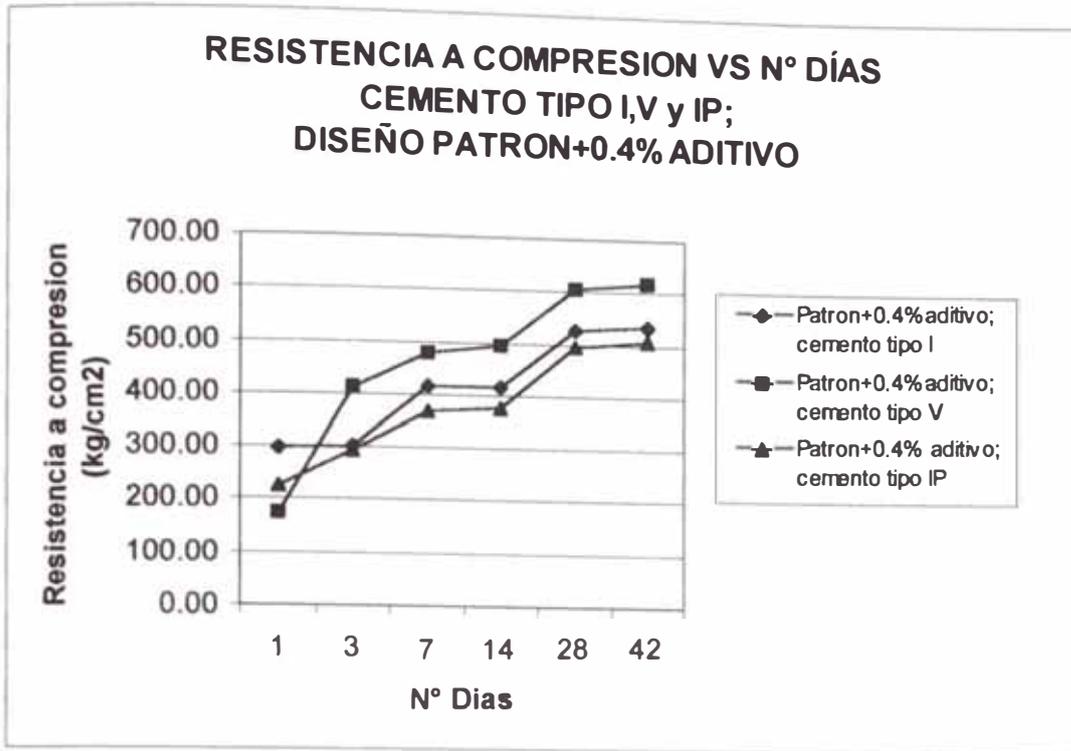


Grafico 8.2.6.- Ensayo de resistencia a la compresión, cemento tipo I, V y IP, 0.8% de aditivo

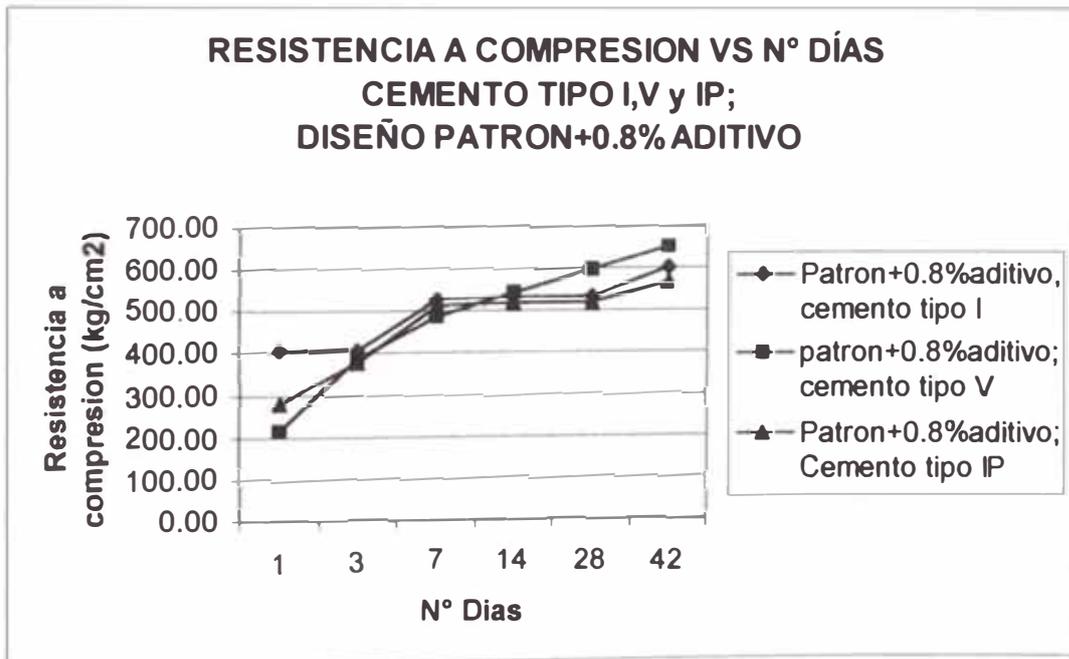
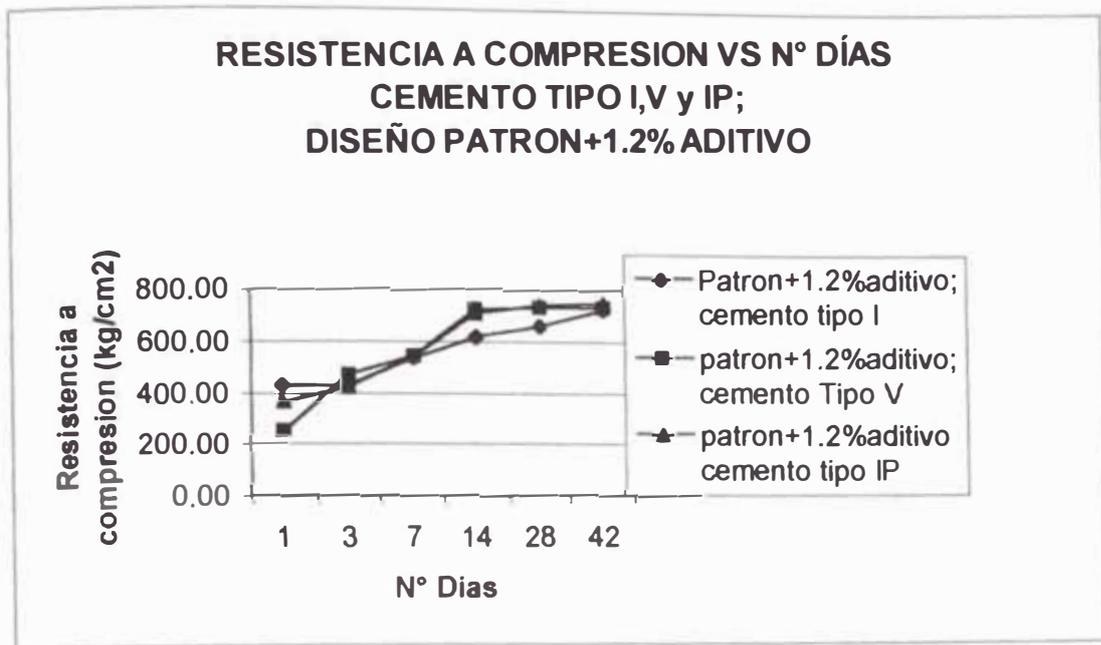


Grafico 8.2.7.- Ensayo de resistencia a la compresión, cemento tipo I, V y IP, 1.2% de aditivo



CAPITULO IX

SÍNTESIS DE INVESTIGACIONES REALIZADAS

9.1. GENERALIDADES

En el presente capítulo se hace una síntesis basada en los resultados obtenidos por estudios anteriores a la presente tesis en la Facultad de Ingeniería Civil UNI, en lo que se refiere a la elaboración de concreto en conjunto con aditivos superplastificantes, de tal manera que se pueda hacer en un siguiente capítulo su respectiva comparación respecto al superplastificante utilizado en el concreto en estudio en esta investigación.

Los puntos o características principales extraídas de las respectivas tesis consisten en los resultados hallados en las propiedades del concreto en su estado fresco y en su estado endurecido, así como las principales características físicas de sus materiales constituyentes, a saber agregados fino y grueso, haciendo mención de sus canteras de origen y además se presenta como información esencial, los diferentes Diseños de Mezcla.

Se tomarán en cuenta los principales resultados de resistencia a la compresión y también la comparación de los porcentajes de agregados utilizados para la elaboración de los diferentes tipos de concreto, así como sus respectivas canteras de origen.

9.2. SÍNTESIS DE INVESTIGACIONES

9.2.1. TÍTULO: INFLUENCIA DE LOS SUPERPLASTIFICANTES EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO NORMAL

AUTOR: EDUARDO ENRIQUE BLESS FLORES

AÑO: 1987

MATERIALES EMPLEADOS

CEMENTO : ANDINO TIPO I, peso específico = 3.12 gr/cm^3

AGREGADOS:

Procedencia:

Agregado grueso: Cantera Río Pinchis.

Agregado fino : Cantera Río Pinchis.

Cuadro 9.2.1.1.-Resumen de las propiedades de los agregados, tesis influencia de los superplastificantes en las propiedades del concreto

	PROPIEDADES	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
1	Peso específico de masa	gr/cm^3	2.58	2.58
2	Peso específico de masa s.s.s.	gr/cm^3	2.60	2.60
3	Peso específico aparente	gr/cm^3	2.64	2.64
4	Absorción	(%)	0.73	0.81
5	Contenido de humedad	(%)	0.30	0.40
6	Peso aparente suelto	kg/m^3	1453	1617
7	Peso aparente compactado	kg/m^3	1652	1848
8	Tamaño máximo nominal	Pulg.	1"	--
9	Modulo de fineza			3.13
10	Superficie específica	cm^2/gr	1.44	48.27
11	Cantidad mat. Que pasa malla N°200	(%)	--	0.40

ADITIVO:

El aditivo usado fue " SIKAMENT" , Norma ASTM C-494 Tipo F

Densidad = 1.2 kg/lt

El porcentaje de aditivo utilizado fue de 0.25,0.50,0.75 y 1.00 % del peso del cemento en las relaciones de agua / cemento 0.4 y 0.5

Cuadro 9.2.1.2.-Propiedades del concreto al estado fresco y endurecido, cemento tipo I, Aditivo Sikament

Relación (a/c)	Reducción de agua	% de aditivo	Asentamiento (pulg)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		Resistencia a la tracción (kg/cm ²)
				7 días	28 días	28 días
0.50	0%	0%	3"	251	389	34
		0.25%	6"	225	342	34
		0.50%	6"	216	310	33
		0.75%	Muy fluida	216	261	31
		1.00%	Muy fluida	190	238	32
	5%	0.25%	3 ½"	276	380	33
		0.50%	8"	264	363	32
		0.75%	Muy fluida	258	355	30
		1.00%	Muy fluida	220	285	30
	10%	0.25%	2"	304	381	36
		0.50%	5"	287	370	35
		0.75%	9"	284	360	31
		1.00%	Muy fluida	263	310	32
	15%	0.25%	1"	324	387	36
		0.50%	3"	314	378	32
		0.75%	6"	304	365	30
		1.00%	10"	299	339	30
	20%	0.25%	Muy seca	--	--	--
		0.50%	2"	360	419	--
		0.75%	4"	326	374	--
1.00%		8"	306	359	--	
0.40	0%	0%	3"	282	430	35
		0.25%	6"	262	400	34
		0.50%	11"	254	360	28
		0.75%	Muy fluida	249	348	29
	5%	1.00%	Muy fluida	235	335	26
		0.25%	3 ½"	310	420	34
		0.50%	8"	290	404	33
		0.75%	Muy fluida	276	384	39
	10%	1.00%	Muy fluida	254	360	29
		0.25%	2"	334	421	34
		0.50%	5"	321	412	33
		0.75%	9"	306	392	39
	15%	1.00%	Muy fluida	292	371	34
		0.25%	0	409	474	35
		0.50%	--	370	451	38
		0.75%	1"	348	435	33
	20%	1.00%	--	329	416	41
		0.25%	--	--	--	--
		0.50%	--	--	--	42
		0.75%	--	--	--	41
		1.00%	--	--	39	

9.2.2. TITULO: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO POR LA ADICION DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y REDUCTOR DE AGUA CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP.

AUTOR: GUILLERMO ENRIQUE TORRES CASTRO.

AÑO: 1994

OBJETIVO: Determinar las propiedades del concreto al estado fresco y endurecido, haciendo un análisis comparativo entre un concreto normal (sin aditivo) y concreto con aditivo superplastificante y reductor de agua MUROXMENT (ASTM-C 494 F). Se usara el cemento portland tipo IP.

MATERIALES EMPLEADOS

CEMENTO : ATLAS TIPO IP

AGREGADOS:

Procedencia:

Agregado grueso: Cantera Río Rimac (márgenes del río Rimac)

Agregado fino : Cantera La Molina

Cuadro 9.2.2.1.-Resumen de las propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera Río Rimac, Agregado fino : Cantera La Molina

	PROPIEDADES	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
1	Peso específico de masa	gr/cm ³	2.68	2.58
2	Peso específico de masa s.s.s.	gr/cm ³	2.71	2.64
3	Peso específico aparente	gr/cm ³	2.77	2.73
4	Absorción	(%)	1.23	2.15
5	Contenido de humedad	(%)	2.84	0.05
6	Peso aparente suelto	kg/m ³	1489	1654
7	Peso aparente compactado	kg/m ³	1577	1808
8	Tamaño máximo	Pulg.	1 "	--
9	Tamaño máximo nominal	Pulg.	1 "	--
10	Modulo de fineza		6.7	3.2

ADITIVO: El aditivo usado fue “ MUROXMENT”

DISEÑO DE MEZCLA:

Método del agregado global 52% de arena y 48% de piedra.

Cuadro 9.2.2.2.- Diseño concreto patrón, cemento tipo IP

Relacion (a/c)	Materiales	Pesos húmedos (kg/m ³)
a/c=0.40	Cemento	675
	Agua	270
	Arena	657
	Piedra	644
	Suma:	2246
	Aire=1.5%	Asentamiento = 3 1/2”
a/c=0.50	Cemento	480
	Agua	240
	Arena	787
	Piedra	771
	Suma:	2278
	Aire=1.5%	Asentamiento = 3 5/16”
a/c=0.60	Cemento	373
	Agua	223
	Arena	860
	Piedra	840
	Suma:	2296
	Aire=1.5%	Asentamiento = 3 ”

Cuadro 9.2.2.3.-Propiedades del concreto al estado fresco, cemento tipo IP, Aditivo superplastificante Muroxment

a/c	Diseño	Reducción de agua (%)	a/c final	Asentamiento (pulg)	Índice de consistencia (%)	Peso unitario (kg/m ³)	Contenido de aire (%)	Tiempo de fragua (h:min)	
								inicio	final
0.40	Patrón=p	0	0.40	3 1/2"	63.6	2304	2.5		
	P+1% aditivo	0	0.40	5 1/2"	116.4	2283	1.6		
	P+1.5% aditivo	0	0.40	5 3/4"	118.8	2332	3.6		
	P+2.0% aditivo	0	0.40	8"	124.0	2311	2.8		
	P+2.5% aditivo	0	0.40	8 5/8"	162.8	2332	3.6		
	P+1% aditivo	5.2	0.38	3 1/4"	70.0	2339	3.9		
	P+1.5% aditivo	5.9	0.38	3 7/16"	93.2	2311	2.8		
	P+2.0% aditivo	6.7	0.37	3 1/2"	102.4	2346	4.2		
	P+2.5% aditivo	7.4	0.37	3 1/2"	97.6	2325	3.4		
0.50	Patrón=p	0	0.50	3 1/2"	66.8	2346	2.9		
	P+1% aditivo	0	0.50	6 5/16"	111.2	2339	2.6		
	P+1.5% aditivo	0	0.50	8 1/2"	138.4	2346	2.9		
	P+2.0% aditivo	0	0.50	8 7/8"	170.4	2339	2.6		
	P+2.5% aditivo	0	0.50	10 1/16"	Sale fuera	2339	2.6		
	P+1% aditivo	6.7	0.47	3 3/8"	51.2	2339	2.6		
	P+1.5% aditivo	7.9	0.46	3 1/2"	56.0	2332	2.3		
	P+2.0% aditivo	11	0.45	3 1/2"	52.8	2339	2.6		
	P+2.5% aditivo	16	0.42	3 3/4"	50.8	2367	3.8		
0.60	Patrón=p	0	0.60	3"	67.2	2325	1.2	2:54	4:49
	P+1% aditivo	0	0.60	7"	105.2	2360	2.7		
	P+1.5% aditivo	0	0.60	8 1/2"	145.2	2375	3.3	1:54	4:42
	P+2.0% aditivo	0	0.60	9"	162.0	2360	2.7		
	P+2.5% aditivo	0	0.60	10 5/8"	168.8	2367	3.0	1:53	4:30
	P+1% aditivo	2.2	0.58	3"	64.0	2360	2.7		
	P+1.5% aditivo	5.8	0.56	3 1/8"	76.4	2375	3.3	2:06	4:17
	P+2.0% aditivo	9.4	0.54	3"	66.0	2382	3.6		
	P+2.5% aditivo	14	0.52	3 1/4"	78.8	2403	4.5	1:05	4:30

Cuadro 9.2.2.4.- Propiedades Resistencia a la compresión, cemento tipo IP, Aditivo superplastificante Muroxment

a/c	DISEÑO	Reducción de agua (%)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)					
			Nº DIAS					
			1	3	7	14	28	42
0.40	Patrón=p	0			327	355	387	406
	P+1% aditivo	0			348	358	368	374
	P+1.5% aditivo	0			337	358	380	393
	P+2.0% aditivo	0			367	386	406	417
	P+2.5% aditivo	0			374	388	403	412
	P+1% aditivo	5.2			371	387	403	413
	P+1.5% aditivo	5.9			353	383	417	438
	P+2.0% aditivo	6.7			344	380	419	443
	P+2.5% aditivo	7.4			358	393	432	456
0.50	Patrón=p	0			272	299	329	348
	P+1% aditivo	0			271	301	334	356
	P+1.5% aditivo	0			292	323	358	380
	P+2.0% aditivo	0			310	343	379	402
	P+2.5% aditivo	0			320	349	382	402
	P+1% aditivo	6.7			293	330	371	398
	P+1.5% aditivo	7.9			309	330	354	368
	P+2.0% aditivo	11			320	350	382	402
	P+2.5% aditivo	16			364	372	380	385
0.60	Patrón=p	0			275	291	308	328
	P+1% aditivo	0			260	283	308	324
	P+1.5% aditivo	0			248	273	301	329
	P+2.0% aditivo	0			264	283	305	328
	P+2.5% aditivo	0			291	301	320	326
	P+1% aditivo	2.2	157	217	269	296	326	345
	P+1.5% aditivo	5.8	170	232	284	314	348	370
	P+2.0% aditivo	9.4	172	243	291	326	365	390
	P+2.5% aditivo	14	206	260	300	330	364	385

Cuadro 9.2.2.5.- Resistencia a la tracción por compresión diametral, cemento tipo IP, Aditivo superplastificante Muroxment

a/c=0.60		
DISEÑO	REDUCCIÓN DE AGUA(%)	f _{cr} 28 días (kg/cm ²)
PATRÓN=P	0	23
P+1.0% aditivo	0	23
P+1.5% aditivo	0	25
P+2.0% aditivo	0	25
P+2.5% aditivo	0	25
P+1.0% aditivo	2.2	22
P+1.5% aditivo	5.8	23
P+2.0% aditivo	9.4	23
P+2.5% aditivo	14	29

Tesis: Estudio comparativo de los aditivos superplastificantes utilizados en nuestro medio e influencia en las propiedades del concreto con cemento tipo I, V y IP

9.2.3. TITULO: CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON EL SUPERPLASTIFICANTE PSP-N2

AUTOR: RAFAEL MOISÉS TELLO RODRIGUEZ.

AÑO: 1994

OBJETIVO: Estudiar el efecto de la incorporación del superplastificante PSP-N2 de PROTEX sobre las propiedades de concretos con resistencias en compresión mayores de 500 kg/cm² a los 28 días.

Los ensayos se efectuaran en mezclas con relaciones agua/cemento de diseño de 0.35 y 0.45.

MATERIALES EMPLEADOS

CEMENTO : SOL TIPO I, peso específico = 3.08 gr/cm³

AGREGADOS:

Procedencia:

Agregado grueso: Cantera la Gloria

Agregado fino Cantera la Molina

Cuadro 9.2.3.1.- Resumen de las propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera la Gloria, Agregado fino: Cantera la Molina

	PROPIEDADES	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
1	Peso específico de masa	gr/cm ³	2.66	2.65
2	Absorción	(%)	0.84	1.52
3	Contenido de humedad	(%)	0.50	0.81
4	Peso aparente suelto	kg/m ³	1447	1662
5	Peso aparente compactado	kg/m ³	1634	1857
6	Tamaño máximo	Pulg.	1"	--
7	Tamaño máximo nominal	Pulg.	¾"	--
8	Modulo de fineza		7.69	3.27
9	Superficie específica	cm ² /gr	1.73	35.40

ADITIVO: La dosificación del aditivo se hizo en dosis recomendadas por la información técnica correspondiente y además se probaron sobre dosis de aditivo para observar su comportamiento. La dosis de aditivos usado fueron las siguientes 9,18,24,30,36,42, onzas fluidas por 100 lbs. o 45.36 kg de cemento.

DISEÑO DE MEZCLA:

Método del modulo de fineza de la combinación de agregados.

Dosificación de mezclas:

superplastificante PSP-N2

Cuadro 9.2.3.2.- Diseño de mezclas de concreto, cemento tipo I, Aditivo superplastificante PSP-N2 de PROTEX

a/c	diseño	Cemento (kg)	Agua efectiva(lt)	Arena húmeda(kg)	Piedra húmeda (kg)	Aditivo (lt)
0.45	Patrón=p	510	229.33	802.05	786.17	0
	P+9onzas adit. + reducc. agua	510	213.18	817.38	801.92	2.94
	P+18 onzas adit. + reducc. agua	510	196.71	838.56	821.96	5.98
	P+24 onzas adit. + reducc. agua	510	188.80	846.68	829.91	7.98
	P+30 onzas adit. + reducc. agua	510	183.35	851.42	834.56	9.97
	P+36 onzas adit. + reducc. agua	510	179.87	853.45	836.55	13.96
	P+18 onzas adit. sin reducc. agua	510	229.33	793.96	778.24	6.98
0.38	Patrón=p	595	226.24	837.31	685.07	0
	P+9onzas adit. + reducc. agua	595	208.85	855.43	699.71	3.49
	P+18 onzas adit. + reducc. agua	595	193.64	877.08	717.61	6.98
	P+24 onzas adit. + reducc. agua	595	188.68	881.50	721.23	9.31
	P+30 onzas adit. + reducc. agua	595	184.71	884.45	723.64	11.64
	P+42 onzas adit. + reducc. agua	595	181.69	883.00	722.45	13.97
	P+18 onzas adit. sin reducc. agua	595	226.16	828.50	677.86	6.98

Cuadro 9.2.3.3.- Propiedades del concreto al estado fresco, cemento tipo I, Aditivo superplastificante PSP-N2 de PROTEX

a/c	diseño	Reducción de agua (%)	a/c final	Asentamiento (pulg)	Peso unitario (kg/m ³)	Contenido de Aire	Exudación
0.45	Patrón=p	0	0.45	3.05	2384	2.15	0.54
	P+9onzas adit.+ reducc. agua	7.2	0.418	3.08	2398	2.10	0.31
	P+18 onzas adit.+ reducc. agua	14.23	0.386	3.10	2406	2.00	0.13
	P+24 onzas adit.+ reducc. agua	17.78	0.370	3.12	2424	1.91	0.05
	P+30 onzas adit.+ reducc. agua	20.00	0.360	3.12	2433	1.90	0
	P+36 onzas adit.+ reducc. agua	21.56	0.353	3.16	2489	1.90	0
0.38	Patrón=p	0	0.38	2.65	2389	2.10	0.25
	P+9onzas adit.+ reducc. agua	7.65	0.351	3.05	2391	2.05	0.10
	P+18 onzas adit.+ reducc. agua	14.21	0.325	3.12	2398	2.00	0
	P+24 onzas adit.+ reducc. agua	16.58	0.316	3.12	2409	1.90	0
	P+30 onzas adit.+ reducc. agua	18.42	0.310	3.16	2419	1.85	0
	P+42 onzas adit.+ reducc. agua	19.72	0.305	3.22	2434	1.91	0

Cuadro 9.2.3.4.- Propiedades de resistencia ala compresión, cemento tipo I, Aditivo superplastificante PSP-N2 de PROTEX

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)							
a/c	diseño	Nº DIAS					
		7	14	21	28	35	42
0.45	Patrón=p	315.98	366.67	379.53	386.91	391.68	391.72
	P+18 onzas adit.+ reducc. agua	385.10	435.24	449.81	469.35	476.13	477.18
	P+24 onzas adit.+ reducc. agua	410.77	451.32	472.60	482.79	489.82	490.82
	P+30 onzas adit.+ reducc. agua	460.68	492.94	514.13	524.40	530.89	535.00
	P+36 onzas adit.+ reducc. agua	463.37	486.55	490.72	495.74	499.79	499.88
	P+18 onzas adit. sin reducc. agua	343.23	364.72	375.45	383.88	386.82	387.35
0.38	Patrón=p	357.71	414.64	429.49	436.78	440.16	440.26
	P+18 onzas adit.+ reducc. agua	470.19	528.37	549.16	557.33	565.87	568.06
	P+24 onzas adit.+ reducc. agua	503.13	534.23	559.07	570.71	579.91	588.97
	P+30 onzas adit.+ reducc. agua	533.66	562.81	586.16	595.46	602.28	602.78
	P+42 onzas adit.+ reducc. agua	521.17	542.72	548.94	550.90	552.43	552.52
	P+18 onzas adit. sin reducc. agua	377.78	408.12	416.67	424.98	430.15	431.12

9.2.4. TITULO: INCORPORACIÓN DEL ADITIVO MICRO-SILICE F-100T DRY EMSAC Y EL SUPERPLASTIFICANTE PSP-N2 PROTEX PARA LA OBTENCIÓN DE CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA

AUTOR: EDDY LINO VARGAS CALLE

AÑO: 1995.

OBJETIVO: Realizar las investigaciones que permitan obtener concretos trabajables y de alta resistencia; mediante la incorporación a la mezcla del aditivo "f-100T DRY EMSAC" (una sílice de alta fineza) en porcentajes de 0, 10, 20 y 30 % respecto del peso del cemento; y el superplastificante "PSP-N2 PROTEX".

El estudio se efectuara en mezclas preparadas con el cemento portland tipo I-SOL, se trabajara con mezclas de 0.40 y 0.50 de agua/cemento.

MATERIALES EMPLEADOS

CEMENTO : SOL TIPO I, peso específico = 3110kg/m³

AGREGADOS:

Procedencia:

Agregado grueso: Cantera Lurín

Agregado fino : Cantera Jicamarca

Cuadro 9.2.4.1.- propiedades de los agregados, Agregado grueso:

Cantera Lurin, Agregado fino : Cantera Jicamarca

	PROPIEDADES	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
1	Peso específico de masa	gr/cm ³	2.719	2.648
2	Peso específico de masa s.s.s.	gr/cm ³	2.739	2.661
3	Peso específico aparente	gr/cm ³	2.773	2.683
4	Absorción	(%)	0.74	0.49
5	Contenido de humedad	(%)	0.32	0.46
6	Peso aparente suelto	kg/m ³	1485	1621
7	Peso aparente compactado	kg/m ³	1614	1834
8	Tamaño máximo	Pulg.	1"	--
9	Tamaño máximo nominal	Pulg.	¾"	
10	Modulo de fineza		6.674	26.42

ADITIVO: El superplastificante usado es de la compañía Americana “PROTEX INDUSTRIES INCORPORATED” conforme en las especificaciones ASTM C-494 de tipo F su formulación química corresponde a sulfonatos formaldehído condensado de naftaleno modificado, solubilidad en un medio especial, no contiene cloruro de calcio. El aditivo esta formulado para obtener altas resistencias iniciales (este efecto puede reducir o eliminar el calor de hidratación) debido a este comportamiento el aditivo es ideal para fabricar elementos prefabricados y operaciones de pretensado; se puede usar juntamente con otros aditivos químicos tales como retardadores, aceleradores, reductores de agua

Peso especifico = 1.165gr/cm³

Liquido de color negro (mas viscoso que el agua)

DISEÑO DE MEZCLA:

- A5 – 0.0 :Diseño patrón = P
- B5 – 7.0 P + reemplazo de cemento por microsilice en 7.5%peso del cemento+aditivo 7kg/m³ de concreto
- C5 – 14.0 P + reemplazo de cemento por microsilice en 15%peso del cemento+aditivo 14kg/m³ de concreto
- D5 – 20.0 . P + reemplazo de cemento por microsilice en 22.5%peso del cemento+aditivo 20kg/m³ de concreto
- E5 – 10.7 : P +aditivo 10.74kg/m³ de concreto
- A4 – 0.0 : Patrón = P
- B4 – 10.5 P + reemplazo de cemento por microsilice en 7.5%peso del cemento+aditivo 10.5kg/m³ de concreto
- C4 – 20.0 : P + reemplazo de cemento por microsilice en 15%peso del cemento+aditivo 20kg/m³ de concreto
- D4 – 4.1 . P + reemplazo de cemento por microsilice en 22.5%peso del cemento+aditivo 41kg/m³ de concreto
- E4 – 1.5 . P + aditivo 14.95kg/m³ de concreto
- F4-13.0 : p+reducción de agua hasta a/c=0.327 + aditivo 13kg/m³ de concreto

Cuadro 9.2.4.2.- Dosificación de mezclas, cemento tipo I , Micro-silice f-100t Dry Emsac y el superplastificante PSP-N2 PROTEX

a/c	Diseño	Cemento (kg)	Agua efectiva (l)	Arena húmeda (kg)	Piedra húmeda (kg)	Aditivo (l)
0.50	A5 – 0.0	433.8	221.1	758.6	950.6	0
	B5 – 7.0	403.5	206.0	764.6	958.3	7
	C5 – 14.0	377.2	192.9	769.0	963.8	14
	D5 – 20.0	354.1	181.3	773.0	968.8	20
	E5 – 10.7	429.8	219.1	751.6	941.8	10.74
0.40	A4 – 0.0	606.0	246.1	669.1	838.5	0
	B4 – 10.5	563.7	229.2	671.8	841.9	10.5
	C4 – 20.0	527.0	214.5	673.8	844.4	20
	D4 – 41.0	494.7	201.6	662.5	830.3	41
	E4 – 15.0	598.2	243.0	660.5	827.7	14.95

Cuadro 9.2.4.3.- Propiedades del concreto al estado fresco, cemento tipo I , Micro-silice f-100t Dry Emsac y el superplastificante PSP-N2 PROTEX

a/c	diseño	Asentamiento	Peso unitario (kg/m ³)	Contenido de Aire	Exudación
0.50	A.5-00	10.0	2367	1.9	0.89
	B.5-7.0	11.0	2352	2.1	
	C.5-14.0	10.5	2347	2.0	
	D.5-20.0	10.5	2338	2.1	
0.40	A.4-0.0	9.0	2362	1.9	0.72
	B.4-10.5	11.0	2342	2.0	
	C.4-20.0	11.0	2323	1.9	
	D.4-41.0	10.0	2288	2.2	

Cuadro 9.2.4.4.- Propiedades de resistencia a la compresion, cemento tipo I , Micro-silice f-100t Dry Emsac y el superplastificante PSP-N2 PROTEX

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)					
a/c	diseño	Nº Días /Resistencia			
0.50	A.5-00	7 días	28 días	56 días	96 días
		305	353	375	456
	B.5-7.0	11 días	30 días	56 días	96 días
		376	407	438	576
	C.5-14.0	11 días	30 días	56 días	96 días
		436	481	560	600
	D.5-20.0	14 días	30 días	58 días	93 días
		522	525	542	596
	E.5-10.7	7 días	28 días	56 días	99 días
		291	333	336	388
0.40	A.4-0.0	7 días	28 días	57 días	97 días
		355	401	408	529
	B.4-10.5	9 días	28 días	57 días	95 días
		403	467	501	560
	C.4-20.0	9 días	28 días	56 días	94 días
		470	534	541	642
	D.4-41.0	8 días	28 días	56 días	94 días
		466	541	571	660
E.5-15.0	7 días	28 días	56 días	91 días	
	347	383	417	461	
F.4-13.0	12 días	28 días	56 días	91 días	
	476	486	538	592	

9.2.5. TITULO: ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO, SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO.

AUTOR: RICHARD HUGO REYMUNDO GAMARRA.

AÑO: 1995.

OBJETIVO: Realizar el estudio de la influencia del aditivo superplastificante y reductor de alto rango; PSP-N2, de la firma PROCON, de procedencia norteamericana sobre las propiedades del concreto al estado fresco y endurecido, mediante ensayos normalizados; obteniendo concretos trabajables y de alta resistencia para el cual se usara cemento portland tipo I Andino. Para los diseños de mezcla se empleara tres relaciones agua/cemento 0.40, 0.45 0.50 con o sin aditivo y se analizara en el estado fresco: peso unitario, consistencia, contenido de aire, exudación y tiempo de fraguado. En el estado endurecido : resistencia a la compresión , resistencia a la tracción.

MATERIALES EMPLEADOS

CEMENTO : ANDINO TIPO I,

AGREGADOS:

Procedencia:

Agregado grueso: Cantera río Rimac

Agregado fino : Cantera Jicamarca

Cuadro 9.2.5.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso:

Cantera río Rimac, Agregado fino: Cantera Jicamarca

	PROPIEDADES	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
1	Peso específico de masa	gr/cm ³	2.66	2.47
2	Peso específico de masa s.s.s.	gr/cm ³	2.68	2.67
3	Peso específico aparente	gr/cm ³	2.69	2.74
4	Absorción	(%)	0.40	1.39
5	Contenido de humedad	(%)	0.45	0.44
6	Peso aparente suelto	kg/m ³	1386	1598
7	Peso aparente compactado	kg/m ³	1593	1745
8	Tamaño máximo	Pulg.	1"	--
9	Tamaño máximo nominal	Pulg.	1"	--
10	Modulo de fineza		7.1	2.80
11	Superficie específica	cm ² /gr	1.69	47.78
12	Cantidad mat. que pasa malla N°200	(%)	--	4.9

ADITIVO: Aditivo superplastificante y reductor de alto rango; PSP-N2, de la firma PROCON, de procedencia Americana.

la proporción a utilizarse será de 0.5, 0.9 y 1.95% del peso del cemento en las relaciones de agua/cemento 0.40, 0.45 y 0.50.

DISEÑO DE MEZCLA:

Método del modulo de fineza de la combinación de agregados.

Cuadro 9.2.5.2.- Diseño de mezcla, cemento tipo I, Diseño patrón por m³ de concreto (húmedo).

Material	a/c		
	0.40	0.45	0.50
Cemento(kg)	542.7	459.0	408.0
Agua(lt)	222.0	215.0	210.0
Piedra(kg)	843.0	892.2	942.4
Arena(kg)	689.6	716.9	754.2

Cuadro 9.2.5.3.- Propiedades del concreto al estado fresco, cemento tipo I, Aditivo superplastificante PSP-N2

a/c	diseño	Reducción de agua (%)	a/c final	Asentamiento (pulg.)	Peso unitario (kg/m ³)	Contenido de Aire	Exudación	Tiempo de fragua (H:min)	
								inicio	final
0.40	Patrón=p	0	0.40	4"	2384	0.90	2.0	4:15	6:55
	P+0.5%adit.	21	0.31	4"	2417	1.10	2.05	3:40	5:38
	P+0.9%adit.	29	0.28	3 ¾"	2415	1.10	2.16	3:46	5:32
	P+1.25%adit	32	0.26	3 ½"	2417	1.30	2.18	3:58	5:28
0.45	Patrón=p	0	0.45	4"	2401	0.90	2.11	5:32	7:48
	P+0.5%adit.	19	0.36	4"	2410	1.00	2.13	4:39	6:24
	P+0.9%adit.	25	0.33	4"	2415	1.15	2.19	4:48	6:12
	P+1.25%adit	28	0.32	3 ¾"	2417	1.35	2.30	5:06	6:00
0.50	Patrón=p	0	0.50	4"	2396	0.95	2.27	5:55	8:30
	P+0.5%adit.	21	0.39	4"	2410	1.10	2.28	5:00	7:29
	P+0.9%adit.	27	0.35	4"	2415	1.25	2.36	5:12	7:19
	P+1.25%adit	30	0.34	3 ¾"	2415	1.40	2.44	5:21	7:02

Cuadro 9.2.5.4.- Propiedades de resistencia a la compresión , cemento tipo I, Aditivo superplastificante PSP-N2

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm²)						
a/c	diseño	1 dia	2 dias	3 dias	7 dias	28 dias
0.40	Patrón=p	154	226	269	336	466
	P+0.5%adit.	207	288	340	412	510
	P+0.9%adit.	273	345	371	441	555
	P+1.25%adit	339	347	378	460	627
0.45	Patrón=p	122	191	225	286	407
	P+0.5%adit.	173	239	283	345	426
	P+0.9%adit.	211	284	333	361	485
	P+1.25%adit	230	291	339	399	534
0.50	Patrón=p	111	170	204	262	370
	P+0.5%adit.	155	226	264	337	412
	P+0.9%adit.	189	271	312	357	468
	P+1.25%adit	210	292	320	378	511

Cuadro 9.2.5.5.- Propiedades de Tracción por compresión diametral (kg/cm²) , cemento tipo I, Aditivo superplastificante PSP-N2

Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm²)		
a/c	diseño	28 días
0.40	Patrón = p	53
	P+0.5%adit.	57
	P+0.9%adit.	62
	P+1.25%adit	64
0.45	Patrón=p	45
	P+0.5%adit.	47
	P+0.9%adit.	50
	P+1.25%adit	51
0.50	Patrón=p	35
	P+0.5%adit.	36
	P+0.9%adit.	40
	P+1.25%adit	41

9.2.6. TITULO: ESTUDIO DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA Y ALTA PERFORMANCE CON LA INCORPORACIÓN DE SÍLICE EN POLVO Y ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE.

AUTOR: JOSE LUIS ALARCON PRESENTACION.

AÑO: 1997.

OBJETIVO: Obtener un concreto de alta resistencia y alta performance, con la incorporación de la sílice en polvo distribuida por Química Suiza y el aditivo superplastificante PSP-N2 de la firma PROCON; en la mezcla, para el cual se usara el cemento portland SOL tipo I.

Para los diseños a realizarse se usara una relación agua/cemento de 0.40 y se analizara en el estado fresco : peso unitario, tiempo de fraguado, fluidez, exudación y contenido de aire. En el estado endurecido: resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por compresión diametral.

MATERIALES EMPLEADOS

CEMENTO : SOL TIPO I, peso específico = 3.11 kg/m³

AGREGADOS:

Procedencia:

Agregado grueso: Cantera la Gloria

Agregado fino Cantera la Molina

Cuadro 9.2.6.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera la Gloria, Agregado fino:Cantera la Molina

	PROPIEDADES	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
1	Peso específico de masa	gr/cm ³	2.76	2.63
2	Absorción	(%)	0.69	1.00
3	Contenido de humedad	(%)	0.37	0.78
4	Peso aparente suelto	kg/m ³	1377	1609.2
5	Peso aparente compactado	kg/m ³	1596.7	1843.4
6	Tamaño máximo nominal	Pulg.		¾"
7	Modulo de fineza		7.65	3.17

ADITIVO:

PSP-N2.- Como todo superplastificante, presenta una doble función como plastificante y como reductor de agua. Aumenta significativamente la trabajabilidad de un concreto para una relación a/c dada, PSP-N2 es un poderoso dispersante que puede generar concreto fluido y auto nivelado de 6 a 10" sobre base de slump normal de 2" a 4" sin necesidad de excesiva de agua de mezcla. PSP-N2 permite reducciones entre 12% hasta un 30% de agua de mezcla.

PSP-N2 es una formulación de condensados de Formaldehído naftalino sulfonados sin contenido de cloruros de calcio, es decir pertenece a la segunda categoría de los superplastificantes (tipo B)

Conforme a las normas ASTM C949 corresponde a un aditivo tipo F.

SÍLICE EN POLVO: Es un producto derivado de la introducción de hornos de arco e la industria de los metales de sílice y de ferrosilice. La reducción de sílice de cuarzo a temperaturas sobre 2000°C produce vapores de SiO, los cuales se oxidan y condensan a bajas temperaturas pequeñas partículas esféricas consistentes en sílice amorfa.

El material finamente removido por filtración de los gases que escapan del proceso poseen un diámetro del orden de 0.1mm y un área superficial de 20 a 25m²/g. Comparando con cementos portland normales y cenizas volantes típicas, la sílice en polvo es dos ordenes de magnitud mas fina .

Sílice en polvo a utilizar:

La sílice a en polvo a utilizar es "SILICA FUME" de la compañía química Suiza, que tiene las siguientes características:

Color: Gris claro

Peso específico: 2.2 gr/cm³

Fineza : 200.000cm²/gr

DISEÑO DE MEZCLA:

Haciendo un resumen de este capítulo, cabe recordar que la relación utilizada de agua/cemento fue de 0.40 , la cantidad de aditivo PSP-N2 utilizado en el concreto patrón con aditivo fue de 0.7%, 0.85 y 1.25% del peso del cemento y en el diseño de concreto patrón con aditivo y sílice en polvo la dosificación

utilizada de aditivo fue de 1.2%, 1.94% y 4% del peso del cemento, la sílice utilizada fue de 7%, 10% y 15% del peso del cemento.

La sílice en polvo fue añadida directamente a la mezcla base sin hacer ningún tipo de reemplazo del cemento, ni de otro componente de la mezcla.

Cuadro 9.2.6.2.- Diseño patrón por m³ de concreto (húmedo), Cemento tipo I.

por m ³ de concreto(a/c=0.40)	
Materiales	pesos
Cemento(kg)	612.5
Agua(lt)	245.0
Piedra(kg)	707.0
Arena(kg)	742.0
Aire(%)	2%

Cuadro 9.2.6.3.- Propiedades del concreto al estado fresco, cemento tipo I, incorporación de la sílice en polvo, aditivo superplastificante PSP-N2

a/c	diseño	Asentamiento (pulg)	Peso unitario (kg/m ³)	Contenido de Aire (%)	Exudación	Fluidez (%)	Tiempo de fragua (H:min)	
							inicio	final
0.40	Patrón=p	3"-4"	2296.2	0.97	0.97	63.32	3:24	4:45
	P+0.5%adit.	3"-4"	2281.33	0.43	0.05	55.32	3:12	4:33
	P+0.9%adit.	3"-4"	2281.33	0.32	0	53.00	3:21	4:30
	P+1.25%adit	3"-4"	2261.55	0.17	0	62.40	3:39	4:48
	P+1.2%adit+0.7%silice	3"-4"	2353.37	0.34	0	60.00	3:07	4:37
	P+1.94%adit+10%silice	3"-4"	2373.15	0.28	0	78.40	3:09	4:27
	P+4%adit+15%silice	3"-4"	2408.46	0.08	0	98.00	3:18	4:15

Cuadro 9.2.6.4.- Resistencia a la compresión(kg/cm²), cemento tipo I, incorporación de la sílice en polvo, aditivo superplastificante PSP-N2

a/c	diseño	2dia	3dias	7dias	14dias	28dias	60dias
0.40	Patrón=p	232.53		312.43	322.00	356.67	
	P+0.5%adit.	264.13	290.0	317.33	360.33	370.50	
	P+0.9%adit.	276.67	296.0	319.33	363.00	373.50	
	P+1.25%adit	326.0	331.33	412.33	421.33	433.00	
	P+1.2%adit+0.7%silice			326.00	386.77	406.43	499.80
	P+1.94%adit+10%silice			366.00	405.33	460.83	536.97
	P+4%adit+15%silice			416.00	475.53	546.02	689.80

Cuadro 9.2.6.5.- Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm²), cemento tipo I, incorporación de la sílice en polvo, aditivo superplastificante PSP-N2

a/c	diseño	28 días
0.40	Patrón=p	27.33
	P+0.5%adit.	29.00
	P+0.9%adit.	30.33
	P+1.25%adit	33.33
	P+1.2%adit+0.7%silice	27.67
	P+1.94%adit+10%silice	33.00
	P+4%adit+15%silice	34.33

9.2.7. TITULO: CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA EMPLEANDO LA MICRO-SILICE SIKACRETE 950 Y EL SUPERPLASTIFICANTE SIKAMENT FF-86.

AUTOR: JOSE ALVAREZ CANGAHUALA..

AÑO: 1998.

OBJETIVO: Efectuar nuevas experiencias utilizando la microsilice SIKACRETE 950 y el superplastificante SIKAMENT FF-86 para determinar las resistencias a la compresión que es posible alcanzar cuando se incorpora cantidades adecuadamente dosificadas de ambos materiales.

Las mezclas bases tendrán relaciones agua/cemento máximas de 0.40 y 0.45 y porcentajes de reemplazo de microsilice de 0%, 7.5%, 15% y 22.5%, el superplastificante se incorporara en el dosaje necesario para mantener la consistencia plástica inicial con un asentamiento de 3" a 4" se utilizara el cemento portland normal tipo I SOL.

MATERIALES EMPLEADOS

CEMENTO : SOL TIPO I,

AGREGADOS:

Procedencia:

Agregado grueso: Cantera Jicamarca

Agregado fino : Cantera la Molina

Cuadro 9.2.7.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso:

Cantera Jicamarca, Agregado fino: Cantera la Molina

	PROPIEDADES	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
1	Peso específico de masa	gr/cm ³	2.693	2.616
2	Peso específico de masa s.s.s.	gr/cm ³	2.720	2.627
3	Peso específico aparente	gr/cm ³	2.773	2.644
4	Absorción	(%)	1.093	0.406
5	Contenido de humedad	(%)	0.347	0.640
6	Peso aparente suelto	kg/m ³	1529.07	1643.75
7	Peso aparente compactado	kg/m ³	1695.04	1844.62
8	Tamaño máximo	Pulg.	1"	--
9	Tamaño máximo nominal	Pulg.	¾"	--
10	Modulo de fineza		6.554	3.258
11	Superficie específica	cm ² /gr	2.874	44.215

ADITIVO:

SIKAMENT FF-86 .- Se utilizó el superplastificante SIKAMENT FF-86 de la empresa Sika- Perú.

Sikament FF – 86 es un producto sintético que produce en el concreto una consistencia superfluida o permite trabajar con una fuerte reducción de agua de amasado.

No contiene cloruros no es tóxico, cáustico ni inflamable , este superplastificante es un producto aniónico, que al ser absorbido por las partículas de cemento, les confiere una carga eléctrica negativa produciendo su separación , permitiendo con esto una hidratación completa de los granos de cemento, sin efectos secundarios.

Sikament FF-86 se clasifica según norma ASTM C494-86 como tipo F.

Líquido color café oscuro.

Densidad 1.22 kg/lt

Campos de aplicación: en concretos de alta resistencia, concretos fluidos

MICRO-SILICE SIKA “SIKACRETE 950”: Se utilizó la microsilice sikacrete 950 de la empresa SIKA – PERU. SIKACRETE 950 es un aditivo basado en microsilica (silica fume) y reductor de agua de alta capacidad, que produce notables incrementos de resistencia mecánica, alta impermeabilidad y alta durabilidad. En la mezcla fresca se produce una alta cohesión, una reducción y una mejor trabajabilidad.

Según los efectos deseados, sikacrete 950 deberá utilizarse conjuntamente con el aditivo superplastificante sikament FF-86.

Color: Gris

Densidad : 1.40 kg/lt.

DISEÑO DE MEZCLA:

Cabe acotar que las relaciones de agua / diseño usadas son 0.45 y 0.40, en el diseño patrón con aditivo y microsilice se usaron diferentes dosificaciones de aditivo y microsilice.

Mezclas:

RA-1: patrón, a/c=0.45

RA-2: patrón + reemplazo de 7.5% peso de cemento con microsilice +3.5kg de superplastificante por m³, a/c=0.45

RA-3: patrón + reemplazo de 15% peso de cemento con microsilice +5.5kg de superplastificante por m³, a/c=0.45

RA-4: patrón + reemplazo de 22.5% peso de cemento con microsilice +10.0kg de superplastificante por m³, a/c=0.45

PE -1: patrón, a/c=0.40

PE -2: patrón + reemplazo de 7.5% peso de cemento con microsilice +5.5kg de superplastificante por m³, a/c=0.40

PE -3: patrón + reemplazo de 15% peso de cemento con microsilice +7.3kg de superplastificante por m³, a/c=0.40

PE -4: patrón + reemplazo de 22.5% peso de cemento con microsilice +12.40kg de superplastificante por m³, a/c=0.40

Cuadro 9.2.7.2.- Diseño final en pesos húmedos por metro cúbico de concreto, Cemento tipo I , superplastificante SIKAMENT FF-86, microsilice sikacrete 950

Diseño	Cemento (kg)	Agua (lt)	Aire (%)	Arena (kg)	Piedra (kg)	Superplastificante (kg)	Microsilice (kg)
RA-1	536.89	245.76	0.341	754.74	799.06		
RA-2	499.43	228.40	0.341	753.77	798.07	3.50	37.46
RA-3	466.86	214.25	0.341	754.06	798.07	6.80	70.03
RA-4	438.28	201.37	0.341	751.39	795.54	10.00	98.91
PE -1	609.20	247.67	0.195	723.78	766.32		
PE -2	566.70	230.64	0.195	718.33	760.54	5.5	42.50
PE -3	529.74	215.85	0.195	716.78	758.89	8.60	79.46
PE -4	497.31	202.86	0.195	714.85	756.86	12.40	111.89

Cuadro 9.2.7.3.- Propiedades del concreto al estado fresco, Cemento tipo I , superplastificante SIKAMENT FF-86, microsílíce sikacrete 950

Diseño	Asentamiento (cm)	Peso unitario (kg/m ³)	Contenido de Aire (%)	Exudación (%)	Tiempo de fragua (H:min)	
					inicio	final
RA-1	10.6	2341	1.80	0.98	4:59	6:21
RA-2	10.0	2331	2.0	0	5:00	6:21
RA-3	10.4	2324	2.2	0	4:44	6:09
RA-4	10.3	2281	2.1	0	4:49	6:15
PE -1	10.0	2338	1.9	0.71	5:18	6:46
PE -2	9.5	2327	2.1	0	5:19	6:41
PE -3	9.6	2313	2.2	0	5:20	6:44
PE -4	10.6	2267	2.2	0	5:23	6:45

Cuadro 9.2.7.4.- Resistencia a la compresión , Cemento tipo I , superplastificante SIKAMENT FF-86, microsílíce sikacrete 950

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN(kg/cm ²)				
Diseño	28día	45días	60días	90días
RA-1	359	406	430	519
RA-2	404	459	495	588
RA-3	464	518	573	661
RA-4	500	559	599	670
PE -1	390	422	461	545
PE -2	437	469	513	623
PE -3	480	523	591	724
PE -4	505	564	630	744

9.2.8. TITULO: ESTUDIO DE LOS EFECTOS PRODUCIDOS EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO, POR LA ADICION DE UN ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE, UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I.

AUTOR: ROBERTO CERRON POMA .

AÑO: 1999

OBJETIVO: Hacer un estudio de los efectos producidos en las propiedades del concreto fresco y endurecido, por la adición del aditivo superplastificante SIKAMENT 10, utilizando cemento portland tipo I.

Para el presente estudio se ha elegido mezclas en concreto con relaciones agua/cemento de 0.40, 0.45 y 0.50, como mezclas patrón en base a estas mezclas patrón, se estudiara el efecto que se produce al añadirse el aditivo sikament 10 en dosis de 0.50%, 1.00%, 2.00% y 3.00% del peso de cemento respectivamente.

MATERIALES EMPLEADOS

CEMENTO Andino TIPO I, peso específico =3110 kg/m³

AGREGADOS:

Procedencia:

Agregado grueso: Cantera Lurín

Agregado fino Cantera Jicamarca

Cuadro 9.2.8.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso:

Cantera Lurin, Agregado fino : Cantera Jicamarca

	PROPIEDADES	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
1	Peso específico de masa	gr/cm ³	2.7536	2.6638
2	Peso específico de masa s.s.s.	gr/cm ³	2.7548	2.6934
3	Peso específico aparente	gr/cm ³	2.7929	2.7450
4	Absorción	(%)	0.78	1.11
5	Contenido de humedad	(%)	0.78	1.34
6	Peso aparente suelto	kg/m ³	1482.1	1638.0
7	Peso aparente compactado	kg/m ³	1620.0	1878.7
8	Tamaño máximo nominal	Pulg.	¾"	Nº4
9	Modulo de fineza		6.877	3.119
10	Superficie específica	cm ² /gr	1.803	51.158
12	Cantidad mat. que pasa malla Nº 200	(%)	--	4.64

DISEÑO DE MEZCLA:

Haciendo un resumen de este capítulo, cabe recordar que la relación utilizada de agua/cemento es de 0.50, 0.45 y 0.40 la cantidad de aditivo Sikament 10 utilizado en el concreto patrón con aditivo fue de 0.5%, 1.0, 2.0 y 3.0% del peso del cemento en todas las relaciones de agua/cemento

Cuadro 9.2.8.2.- Diseño patrón por metro cúbico de concreto (húmedo), cemento tipo I.

Materiales	a/c		
	0.50	0.45	0.40
Cemento(kg)	458	526.66	617.5
Agua(lt)	229.578	237.544	247.511
Arena(kg)	906.745	861.686	802.658
Piedra(kg)	735.146	698.618	650.75
Aire(%)	0.026	0.026	0.026

Cuadro 9.2.8.3.- Propiedades del concreto al estado fresco, cemento tipo I, superplastificante SIKAMENT 10.

a/c	diseño	Reducción de agua (%)	Asentamiento (pulg)	Peso unitario (kg/m ³)	Contenido de Aire (%)	Exudación	Fluidez* (%)	Tiempo de fragua (H:min)	
								inicio	final
0.50	Patrón=p	0	3 5/8"	2368.011	0.38	2.429	96.66	3:02	3:43
	P+0.5%adit.	8.4	3 5/8"	2400.91	0.277	2.255	102.0	3:15	3:58
	P+1%adit.	13.68	3 1/2"	2419.37	0.271	1.829	96.0	3:20	4:08
	P+2%adit	21.04	3 1/2" - 5 1/2"	2440.0	0.333	0.887	92 - 99	6:51	7:54
	P+3%adit	29.32	4" - 7 3/4"	2418.96	2.292	21.360	99.33 - 115.33	21:36	31:27
0.45	Patrón=p	0	3 1/2"	2362.35	0.406	1.848	102.66	3:04	3:54
	P+0.5%adit.	8.06	3 3/4"	2396.74	0.164	1.368	101.0	4:04	5:02
	P+1%adit.	11.95	3 3/4"	2380.04	1.376	1.963	103.3	4:56	6:30
	P+2%adit	21.93	4" - 7 1/2"	2444.83	0.118	2.255	106.3 - 121.0	13:21	16:03
	P+3%adit	29.14	5 3/4" - 9 1/2"	2440.9	1.177	14.015	99.6 - 119.33	21:24	26:58
0.40	Patrón=p	0	3 5/8"	2358.8	0.294	1.675	102	2:46	3:28
	P+0.5%adit.	8.08	3 7/8"	2363.05	1.412	1.491	104.66	3:04	3:59
	P+1%adit.	12.51	3 7/8"	2397.45	0.605	1.411	100.33	4:12	5:13
	P+2%adit	21.20	6" - 9 1/2"	2419.37	0.898	4.82	107.0 - 123.66	18:48	21:08
	P+3%adit	27.80	6 1/2" - 11"	2426.04	1.410	1.922	104.7 - 117.66	7:52	30:34

* Primera lectura después de los 15 golpes, segunda lectura 45 segundos después de los 15 golpes.

Cuadro 9.2.8.4.- Resistencia a la compresión(kg/cm²), cemento tipo I, superplastificante SIKAMENT 10.

a/c	diseño	Resistencia a la compresión(kg/cm ²)			
		7día	14días	28días	42días
0.50	Patrón =p	275.77	299.12	348.01	394.00
	P+0.5%adit.	350.39	381.869	424.506	454.73
	P+1%adit.	372.251	413.576	463.81	487.899
	P+2%adit	421.893	474.44	560.035	615.90
	P+3%adit	436.162	490.506	573.170	636.26
0.45	Patrón=p	305.822	332.88	382.755	418.13
	P+0.5%adit.	385.071	416.99	454.85	479.14
	P+1%adit.	401.55	437.031	501.096	565.887
	P+2%adit	431.961	502.33	601.887	630.224
	P+3%adit	459.749	539.187	621.32	654.645
0.40	Patrón=p	341.031	384.348	436.92	467.53
	P+0.5%adit.	413.62	437.96	484.10	516.51
	P+1%adit.	445.416	483.772	545.352	582.967
	P+2%adit	465.264	534.946	619.266	666.913
	P+3%adit	496.358	575.416	665.277	689.319

Cuadro 9.2.8.5.- Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm²), cemento tipo I, superplastificante SIKAMENT 10.

a/c	diseño	28 días
0.50	Patrón =p	40.69
	P+0.5%adit.	42.16
	P+1%adit.	43.31
	P+2%adit	46.84
	P+3%adit	50.34
0.45	Patrón=p	41.88
	P+0.5%adit.	44.33
	P+1%adit.	47.39
	P+2%adit	47.84
	P+3%adit	49.83
0.40	Patrón=p	42.39
	P+0.5%adit.	43.60
	P+1%adit.	46.36
	P+2%adit	48.65
	P+3%adit	51.17

9.2.9. TITULO: CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y CEMENTO PORTLAND TIPO I.

AUTOR: YUMBAL MOREYRA VIZCARRA.

AÑO: 2000

OBJETIVO: Los propósitos de la presente investigación son; el estudio de las características del concreto de alta resistencia, incorporando un nuevo aditivo superplastificante denominado PSP-L, que es distribuido por la empresa SHERY ING. S.A. desde el mes de enero de 1998.

En los ensayos se utilizaron; cemento portland tipo I sol y piedra chancada de 1/2"

En el diseño de mezclas se usaran, la relación agua cemento de 0.50, 0.45 y 0.40, se analizaran propiedades al estado fresco y endurecido peso unitario, tiempo de fraguado, fluidez, exudación contenido de aire resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por compresión diametral.

MATERIALES EMPLEADOS

CEMENTO : SOL TIPO I, peso específico = 3110kg/m³

AGREGADOS:

Procedencia:

Agregado grueso: Cantera la Gloria

Agregado fino: Cantera San Martín

Cuadro 9.2.9.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso:

Cantera la Gloria, Agregado fino: Cantera San Martín

	PROPIEDADES	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
1	Peso específico de masa	gr/cm ³	2.65	2.62
2	Absorción	(%)	0.33	0.62
3	Contenido de humedad	(%)	0.16	0.42
4	Peso aparente suelto	kg/m ³	1676.47	1609.2
5	Peso aparente compactado	kg/m ³	1843.37	1756.3
6	Tamaño máximo nominal	Pulg.	3/4"	--
7	Modulo de fineza		7.60	2.92

ADITIVO:

ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE PSP- L:

El PSP- L como todo superplastificante, presenta una doble función como plastificante y como reductor de agua.

-como plastificante aumenta significativamente la trabajabilidad de un concreto para una relación a/c dada, PSP-L es un poderoso dispersante.

-como reductor de agua reduce considerablemente la cantidad de agua de la mezcla para un determinado slump entre 3" – 4", PSP-L permite reducciones entre 8% hasta un 25% de agua de la mezcla sin restarle trabajabilidad inicial a la mezcla.

MODO DE APLICACIÓN:

Cuando se aplica PSP – L ya sea como reductor de agua o como agente del concreto fluido, este debe ser mezclado a la tercera porción de agua que va a la mezcla. Toda la dosis del aditivo debe de adicionarse de una sola vez, empleando un recipiente que contenga exactamente la dosis requerida.

Se recomienda aplicar la porción de agua con aditivo después de haber hidratado al concreto, es decir que el aditivo actúa mucho mejor cuando el concreto ha sido humedecido previamente. Es decir que la última porción de agua con superplastificante debe ser la última en agregarse al concreto.

No está permitido la adición subsecuente del superplastificante, sin embargo cuando surjan demoras inesperadas y el slump comienza a perder se puede adicionar pequeñas dosis de 100ml/100 kg de cemento para mantener constante el slump.

-no se recomienda bajo ninguna circunstancia mezclar manualmente el concreto con aditivo, debe usarse una mezcla mecánica.

-los tiempos de mezcla son de 1.5 min. Para mezcladoras eficientes y no menos de 2 minutos para otras mezcladoras pocas eficientes.

Características físicas:

Color: Marrón oscuro, olor medio dulce pero fuerte

Densidad: muy viscoso, parecido aceite al motores.

Densidad aproximada = 1.165gr/cm^3

DISEÑO DE MEZCLA:

Haciendo un resumen de este capítulo, cabe recordar que la relación utilizada de agua/cemento es de 0.50, 0.45 y 0.40 la cantidad de aditivo PSP-L utilizado en el concreto patrón con aditivo fue de 3.9ml/kg de cemento, 5.2ml/kg de cemento y 6.5ml/kg de cemento en todas las relaciones de agua/cemento

Cuadro 9.2.9.2.- Diseño patrón por metro cúbico de concreto (húmedo), cemento tipo I.

Materiales	a/c		
	0.50	0.45	0.40
Cemento(kg)	544.00	622.22	275.00
Agua(lt)	274.62	282.46	292.25
Arena(kg)	707.85	664.24	607.61
Piedra(kg)	714.10	670.10	612.97

Cuadro 9.2.9.3.- Propiedades del concreto al estado fresco, Cemento: tipo I, superplastificante: denominado PSP-L.

a/c	Diseño	Reducción de agua (%)	a/c fina I	Slump (pulg.)	Peso unitario (kg/m ³)	Contenido de Aire (%)	Exudación	Fluidez (%)	Tiempo de fragua (H:min)	
									inicio	final
0.50	Patrón=p	0	0.50	4"	2330.79	0.54	0.50	72.67	2:11	3:27
	P+adit(3.9ml/kgcemen)	9	0.46	4"	2319.45	0.52	0.70	74.00	3:50	5:30
	P+adit(5.2ml/kgcemen)	15	0.43	4"	2310.93	0.24	0.78	82.00	5:10	6:42
	P+adit(6.5ml/kgcemen)	20.10	0.40	4"	2306.68	0.24	1.21	104.67	5:34	6:54
0.45	Patrón=p	0	0.45	4"	2326.54	0.68	0.27	71.33	2:00	3:14
	P+adit(3.9ml/kgcemen)	10.00	0.41	3 ¾"	2319.45	0.93	0.46	72.67	4:02	5:24
	P+adit(5.2ml/kgcemen)	14.25	0.39	4"	2308.10	0.59	0.59	73.33	4:10	5:28
	P+adit(6.5ml/kgcemen)	18.30	0.37	4"	2300.29	0.49	0.68	84.00	4:59	6:42
0.40	Patrón=p	0	0.40	3 ¾"	2315.90	0.90	0.19	73.33	1:27	2:43
	P+adit(3.9ml/kgcemen)	8	0.37	3 ¾"	2301.71	0.92	0.26	74.00	2:47	4:15
	P+adit(5.2ml/kgcemen)	13.22	0.35	3 ¾"	2294.62	0.78	0.27	78.67	3:32	4:56
	P+adit(6.5ml/kgcemen)	17.20	0.33	4"	2293.91	0.86	0.31	79.33	4:25	5:53

**Cuadro 9.2.9.4.- Propiedad de Resistencia a la compresión(kg/cm²);
utilizando Cemento tipo I y Superplastificante denominado
PSP-L.**

a/c	Diseño	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN(kg/cm ²)				
		3días	7días	14días	28días	42días
0.50	Patrón=p	143.41	289.22	317.87	334.62	345.70
	P+adit(3.9ml/kgcemen)	158.43	297.39	337.27	374.66	416.18
	P+adit(5.2ml/kgcemen)	190.57	305.67	342.33	382.95	439.75
	P+adit(6.5ml/kgcemen)	200.13	318.30	366.43	396.99	457.84
0.45	Patrón=p	156.43	295.03	344.45	374.90	387.18
	P+adit(3.9ml/kgcemen)	162.23	301.81	348.14	393.37	459.95
	P+adit(5.2ml/kgcemen)	186.7	315.85	375.03	393.33	458.81
	P+adit(6.5ml/kgcemen)	205.27	379.10	393.20	413.33	494.10
0.40	Patrón=p	163.99	302.34	358.25	389.26	408.34
	P+adit(3.9ml/kgcemen)	173.17	326.17	352.10	403.56	489.40
	P+adit(5.2ml/kgcemen)	193.74	362.37	391.74	447.61	504.82
	P+adit(6.5ml/kgcemen)	214.61	389.50	418.05	474.08	547.23

**Cuadro 9.2.9.5.- Propiedad de Resistencia a la tracción por compresión
diametral (kg/cm²); utilizando Cemento tipo I y
Superplastificante denominado PSP-L.**

Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm ²)		
a/c	diseño	28 días
0.50	Patrón=p	35.41
	P+adit(3.9ml/kgcemen)	37.69
	P+adit(5.2ml/kgcemen)	38.35
	P+adit(6.5ml/kgcemen)	39.75
0.45	Patrón=p	37.11
	P+adit(3.9ml/kgcemen)	38.63
	P+adit(5.2ml/kgcemen)	39.19
	P+adit(6.5ml/kgcemen)	41.15
0.40	Patrón=p	37.61
	P+adit(3.9ml/kgcemen)	45.02
	P+adit(5.2ml/kgcemen)	47.47
	P+adit(6.5ml/kgcemen)	49.61

9.2.10. TÍTULO: EFECTOS DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y REDUCTOR DE AGUA EN LOS CONCRETOS PREPARADOS CON CEMENTO PORTLAND TIPO V.

AUTOR: RAUL MESIAS GARCIA LUCICH.

AÑO: 2000

OBJETIVO: La presente investigación tiene por objetivo fundamental, el investigar los efectos que produce el aditivo superplastificante y reductor de agua Z. FLUIDIZANTE S. R. En las propiedades del concreto elaborado con cemento portland tipo V de cementos ANDINO.

La investigación se realizara efectuando comparaciones entre las propiedades al estado fresco y endurecido de los concretos preparados con y sin aditivo.

Se diseñaran para relaciones de agua/cemento de 0.4,0.5 y 0.60.

MATERIALES EMPLEADOS

CEMENTO : ANDINO TIPO V, peso específico = 3150kg/m³

AGREGADOS:

Procedencia:

Agregado grueso: Cantera la Gloria

Agregado fino Cantera San Martín

Cuadro 9.2.10.1.- Propiedades de los agregados; Agregado grueso:

Cantera la Gloria, Agregado fino: Cantera San Martín

	PROPIEDADES	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
1	Peso específico de masa	gr/cm ³	2.78	2.65
2	Peso específico de masa s.s.s.	gr/cm ³	2.79	2.67
3	Peso específico aparente	gr/cm ³	2.81	2.70
4	Absorción	(%)	0.40	0.70
5	Contenido de humedad	(%)	0.40	2.00
6	Peso aparente suelto	kg/m ³	1428	1507
7	Peso aparente compactado	kg/m ³	1530	1807
8	Tamaño máximo	Pulg.	1 ½"	
9	Tamaño máximo nominal	Pulg.	1"	
10	Modulo de fineza		7.7	3.2
11	Superficie específica	cm ² /gr	1.1	45.9
12	Cantidad mat. Que pasa malla N° 200	(%)	--	10.1

ADITIVO:

ADITIVO Z. FLUIDIZANTE S. R. :

Descripción .- es un superplastificante para hormigón y reductor de agua, economizador de cemento; que cumple con las especificaciones ASTM C-949 tipo F no contiene cloruros, no es toxico, ni inflamable; base de lignosulfanado según literatura de los fabricantes: Z. ADITIVOS S. A.

USOS:

- aditivo dispersor y reductor de agua en toda mezcla de concreto.
- de fácil colocación donde se desee reducir un 20% de agua
- trae a su vez el aumento de resistencia y durabilidad.

APLICACIÓN:

- Añada el Z.fluidizante S.R. al agua de la mezcla después de los agregados.
- en caso necesario usar un entrampador de aire para reducir las dosificaciones del entrampador de aire de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ de lo normal .
- trabaja con bajas relaciones de agua-cemento.

CARACTERÍSTICAS:

- Confiere mayor trabajabilidad al concreto.
- no necesita aumentar el contenido de cemento y agua por m³
- evita la formación de cangrejeras.
- mayor facilidad de enviar el hormigón a alturas con bombas de concreto.
- se acomoda mejor el concreto al fierro corrugado.
- No altera el tiempo de fragua inicial del concreto.
- reduce el drenaje del agua al ser mas hermético.
- resistente a ácidos, álcalis, sulfatos.

DOSIFICACIONES:

- 6 onzas de Z. Fluidizante S.R. por bolsa de cemento.
- Variar la dosis según las condiciones climatologicas; realizar pruebas en el campo.

ENVASES:

- 1 galón, 5 galones, 55 galones.
- Peso del galón: 3.08kg.

DISEÑO DE MEZCLA:

Haciendo un resumen de este capitulo, la relación utilizada de agua/cemento es de 0.40, 0.50 y 0.60 la cantidad de aditivo Z. FLUIDIZANTE S. R. utilizado en el concreto patrón con aditivo fue de 2 onzas/ bolsa de cemento , 4 onzas/ bolsa de cemento y 6 onzas/ bolsa de cemento en todas las relaciones de agua/cemento

**Cuadro 9.2.10.2.- Diseño patrón por metro cúbico de concreto (húmedo),
Cemento Andino tipo V.**

Materiales	a/c		
	0.4	0.50	0.60
Cemento(kg)	712.5	490.0	383.3
Agua(lt)	278.0	236.4	220.6
Arena(kg)	604.4	745.5	807.6
Piedra(kg)	697.7	860.6	932.5

**Cuadro 9.2.10.3.-Propiedades del concreto al estado fresco, Utilizando
Cemento Andino tipo V y Aditivo superplastificante Z.
FLUIDIZANTE S.R.**

a/c	Diseño	Reducción de agua (%)	a/c final	Asentamiento (pulg.)	Fluidez (%)	Tiempo de fragua H:min	
						inicio	final
0.40	Patrón=p	0	0.40	3.2"	55.32	5:59	7:14
	P+adit(2onzas/bl.cemento)	9.96	0.388	3.1"	67.68	6:01	7:23
	P+adit(4onzas/bl.cemento)	12.91	0.387	3.1"	66.68	7:20	8:36
	P+adit(6onzas/bl.cemento)	12.91	0.387	3.9"	74.68	7:44	8:55
0.50	Patrón=p	0	0.50	3.3"	58.68	6:28	8:02
	P+adit(2onzas/bl.cemento)	3.93	0.481	2.7"	63.00	6:19	8:01
	P+adit(4onzas/bl.cemento)	5.20	0.480	3.5"	66.68	7:31	9:00
	P+adit(6onzas/bl.cemento)	7.83	0.479	3.9"	82.68	7:55	9:25
0.60	Patrón=p	0	0.60	3.1"	60.68	6:48	8:21
	P+adit(2onzas/bl.cemento)	1.35	0.575	3.0"	72.32	7:14	8:43
	P+adit(4onzas/bl.cemento)	2.31	0.575	3.4"	85.32	8:07	9:35
	P+adit(6onzas/bl.cemento)	4.62	0.574	3.7"	84.00	8:14	9:50

**Cuadro 9.2.10.4.-Propiedad de Resistencia a la compresión (kg/cm²) ,
Utilizando Cemento Andino tipo V y Aditivo
superplastificante Z. FLUIDIZANTE S.R.**

a/c	Diseño	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)				
		3días	7días	14días	28días	42días
0.40	Patrón=p	248.1	313.7	327.3	394.9	422.4
	P+adit(2onzas/bl.cemento)	295.4	326.6	341.4	383.8	399.6
	P+adit(4onzas/bl.cemento)	299.3	325.3	338.2	374.5	413.9
	P+adit(6onzas/bl.cemento)	306.5	331.8	347.9	399.6	416.1
0.50	Patrón=p	177.1	220.0	255.0	290.9	328.5
	P+adit(2onzas/bl.cemento)	231.6	247.1	279.6	316.2	335.9
	P+adit(4onzas/bl.cemento)	226.9	255.6	270.3	301.3	334.5
	P+adit(6onzas/bl.cemento)	218.2	253.1	266.6	313.8	341.6
0.60	Patrón=d	125.4	181.6	202.3	243.1	278.5
	P+adit(2onzas/bl.cemento)	159.0	196.2	218.1	247.8	276.0
	P+adit(4onzas/bl.cemento)	177.4	200.9	255.6	281.1	315.2
	P+adit(6onzas/bl.cemento)	194.9	200.7	259.1	296.2	326.2

**Cuadro 9.2.10.5.- Propiedad de Resistencia a la tracción por compresión
diametral (kg/cm²), Utilizando Cemento Andino tipo V y
Aditivo superplastificante Z. FLUIDIZANTE S.R.**

a/c	diseño	Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm ²)
		28 días
0.40	Patrón=p	33.1
	P+adit(2onzas/bl.cemento)	34.7
	P+adit(4onzas/bl.cemento)	35.8
	P+adit(6onzas/bl.cemento)	36.1
0.50	Patrón=p	31.4
	P+adit(2onzas/bl.cemento)	30.8
	P+adit(4onzas/bl.cemento)	32.3
	P+adit(6onzas/bl.cemento)	32.5
0.60	Patrón=p	28.3
	P+adit(2onzas/bl.cemento)	29.9
	P+adit(4onzas/bl.cemento)	30.4
	P+adit(6onzas/bl.cemento)	31.1

9.2.11. TITULO: INVESTIGACIÓN DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA METODOLOGÍA DE OBTENCIÓN Y DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS DE 550 – 1200 kg/cm²

AUTOR: MARY PATRICIA MORALES ALFARO

AÑO: 2000

MATERIALES EMPLEADOS

CEMENTO :

1. SOL TIPO I
2. ANDINO TIPO V

AGREGADOS:

Agregado grueso: 90% Dioritas +10% Andesitas

Agregado fino: arena gruesa de m.f.= 3.14

Cuadro 9.2.11.1.- Propiedades de los agregados; Agregado grueso: 90% Dioritas +10% Andesitas; Agregado fino: arena gruesa de m.f.= 3.14

	PROPIEDADES	UNIDAD	ARENA GRUESA	P. CH. DIORITA (3/4")	P. CH. CUARCITA (1/2")
1	Peso específico de masa	gr/cm ³	2.64	2.75	2.58
2	Absorción	(%)	0.71	0.67	0.80
3	Contenido de humedad	(%)	0.53	0.55	0.11
4	Peso aparente suelto	kg/m ³	1637	1575	1479
5	Peso aparente compactado	kg/m ³	1798	1660	1575
6	Modulo de fineza		3.14	7.60	6.90
7	Superficie específica	cm ² /gr	39.5	1.52	1.61

ADITIVOS:

SUPERPLASTIFICANTES:

2. EUCO 537 : Norma ASTM C-494 TIPO G
3. SIKAMENT 10 : Norma ASTM C-494 TIPO G

MICROSILICE:

1. EUCOMSA
2. SIKAFUME

DISEÑO DE MEZCLA:

Cuadro 9.2.11.2.- Diseño Concreto patrón.

Cemento	600 kg
Agua	252 lt.
Arena	728.52 kg
Piedra	796.40 kg
slump	2"
%aire	2%

La dosificación usada del aditivo **superplastificante** en la fase de concreto con aditivo mas microsilice fue de **9 lt/m³** y es con esta cantidad con la que se evaluarán las propiedades del concreto en las Fases de concreto con aditivo y concreto con aditivo mas microsilice.

La dosificación de **microsilice** a usar se decidió tomar el porcentaje del **10%** para optimizar resultados.

Se busco diseños para asentamientos de 2"

La relación a/c para todos los diseños es de 0.40

Cuadro 9.2.11.3.-Dosificación final concreto patrón + Aditivo + Microsilice por m³

Materiales	Pesos
Cemento	600 kg
Agua	269 lt.
Arena	727.2 kg
Piedra	756.4 kg
Microsilice	60 kg
Aditivo	9.0 lt.

Cuadro 9.2.11.4.-Propiedades del concreto Peso unitario y Exudación a/c=0.40.

Diseño	Peso unitario compactado (kg/m ³)	Exudación (%)
Patrón	2472.027	1.37
Patrón + aditivo	2546.480	1.04
Patrón+aditivo+microsilice	2602.290	0

Cuadro 9.2.11.5.-Propiedades de concreto, Tiempo de fragua, a/c= 0.40

Diseño	Tiempo de fragua (H:min)	
	Inicio	Final
Patrón	3:07	3:55
Patrón +aditivo	4:13	15:15
P+ad/1500ml/100kgcem+10%MS	7:45	8:23
P+ad/1500ml/100kgcem+15%MS	6:59	8:03
P+ad/1500ml/100kgcem+20%MS	2:00	4:00

Cuadro 9.2.11.6.-Propiedades del concreto Resistencia a la compresión, a/c=0.40.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)							
DISEÑO	3dias	7dias	28dias	42dias	90dias	180dias	360dias
ETAPA PRELIMINAR							
Patrón		337.48	492.45				
C/aditivo + MS				621.66			
Andino Tipo I- patrón	223.34	361.41	517.38				
Andino Tipo I- patrón - euco	293.62	405.80	608.61				
Andino I+Euco+MS	407.69	484.85	715.30	926.067	1060.61	1150.014	1361.83
Sol Tipo I - patrón	221.82	342.02	527.54				
Sol I + patrón + sikament	298.59	396.14	619.64				
Sol I+patrón+sikament+MS	412.78	490.71	725.49	943.75	1019.61	1150.15	1449.61
SEGUNDA ETAPA							
Andino I patrón	239.55	372.20	571.05				
Andino I+ patrón + Euco	293.55	415.92	637.89		729.48		
Sol I - patrón	251.82	383.67	581.61				
Sol I + patrón + Sikament	310.25	423.56	644.89		731.26		
Sol I+Sikament 10+Sikafume(MS)	416.03	519.80	748.57	1007.34	1081.83	1180.72	1500.42

Cuadro 9.2.11.7.- Resistencia a la Tracción por compresión diametral a los 28 días.

TRACCION A LOS 28 DIAS(kg/cm²)					
PATRÓN		CON ADITIVO		CON ADITIVO + MICROSILICE	
SOL	ANDINO	Sol +Sika	Andino + Euco	Sol +sikament +MS (Sikafume)	Andino+Euco+MS(Euco)
46.049	57.72	52.09	64.24	85.59	100.74

TERCERA ETAPA:

Se usan agregados de TNM=1/2” variando los orígenes geológicos.

Comparación entre los concretos elaborados con agregados de procedencia DIORITA con los concretos que contienen agregados de procedencia de CUARCITA.

Cuadro 9.2.11.8.- Resistencia a la compresión.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm²)			
Diseño	7 días	28 días	44 días
Andino V+Euco+Diorita	547.94	760.44	1136.36
Andino v+sika+cuarcita	566.59	828.67	1139.55

ANÁLISIS CON DIFERENTES TIPOS DE CEMENTO CON ADITIVO MAS MICROSILICE

Cuadro 9.2.11.9.-Resistencia a la compresión, análisis con diferentes tipos de cemento con aditivo mas microsilice

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm²)			
CONCRETO CON ADITIVO MAS MICROSILICA			
CEMENTO	7 días	28 días	79 días
TIPO I	749.8	969.3	1128.0
TIPO II	700.0	879.5	1142.7
TIPO V	700.0	879.5	1142.7
TIPO IP	650.0	831.8	1169.8

**9.2.12. TITULO: EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DEL ADITIVO
SÚPERFLUIDIFICANTE SOBRE LAS PROPIEDADES DEL
CONCRETO UTILIZANDO EL CEMENTO PORTLAND TIPO I**

AUTOR: RUBÉN DANTE JIMÉNEZ GOMES.

AÑO: 2002

OBJETIVO: Realizar estudios sobre las propiedades del concreto al adicionarse Súper - Fluidificante en dosis baja , media y alta ; para la cual realizaremos ensayos en concreto normales sin el aditivo y luego los ensayos con la incorporación del aditivo. con los resultados obtenidos efectuaremos estudios comparativos de trabajabilidad, resistencias a la compresión simple y a la tracción para diferentes relaciones de agua cemento.

MATERIALES EMPLEADOS

CEMENTO : ANDINO TIPO I, peso específico = 3.120 kg/m³

AGREGADOS:

Procedencia:

Agregado grueso: Cantera Jicamarca

Agregado fino Cantera Jicamarca

**Cuadro 9.2.12.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso:
Cantera Jicamarca, Agregado fino: Cantera Jicamarca**

	PROPIEDADES	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
1	Peso específico de masa	gr/cm ³	2.65	2.62
4	Absorción	(%)	1.34	0.56
6	Peso aparente suelto	kg/m ³	1462.0	1395.0
7	Peso aparente compactado	kg/m ³	1658.0	1601.0
10	Modulo de fineza		7.10	3.00

ADITIVO:

ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE SIKAMENT "FF":

Datos técnicos : El aditivo SIKAMENT "FF" cumple con las normas técnicas del ASTM C- 494-86, ASTM – 1017 y ACI- 212 como aditivo súper plastificante tipo "F"

Densidad : 1.20 kg / lt

Descripción: SIKAMENT "FF" es un aditivo aniónico , compuesto por resinas sintéticas, melanina y naptalina. Que al ser absorbidos por las partículas de cemento les confiere una carga eléctrica produciendo su separación permitiendo esto una hidratación completa de los granos de cemento sin efecto secundario, no contiene cloruros.

Dosificación: Como súper fluidificante de 0. 50% al 1.0% del peso del cemento y como reductor de agua de alto poder del 1.0% al 2.0% del peso del cemento.

Precauciones: El efecto súper plastificante dura de 30 a 40 minutos. puede recuperarse este estado adicionando una dosificación similar del sikament, la dosificación adecuada deberá determinarse mediante ensayos pues los resultados son muy sensibles con los cambios de granulometría y el tipo de cemento usado.

Se debe garantizar un suficiente contenido de finos para evitar la segregación del material fluido .

DISEÑO DE MEZCLA:

Haciendo un resumen de este capítulo, la relación utilizada de agua/cemento es de 0.55, 0.50, 0.45 Y 0.40 se busco un diseño patrón y patrón mas aditivo la cantidad de aditivo SIKAMENT "FF" utilizado en el concreto patrón mas aditivo fue en dos etapas como superfluidificante sin reducción de agua y como reductor de agua, como superfluidificante se uso 0.50%, 0.75% y 1% del peso de cemento y como reductor de agua se uso 1%, 1.5% y 2% del peso del cemento.

Cuadro 9.2.12.2.- Diseño patrón por m³ de concreto (húmedo), cemento

Andino tipo I.

Materiales	a/c			
	0.55	0.50	0.45	0.40
Cemento(kg)	355	390	440	495
Agua(lt)	160	161	165	166
Arena(kg)	858	843	819	796
Piedra(kg)	954	948	921	896

9.2.13. TITULO: ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA EN COMPRESIÓN EN CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA DEBIDO AL CURADO EN LABORATORIO Y BAJO CONDICIONES DE OBRA.

AUTOR: MANUEL AMARO VICUÑA.

AÑO: 2002

OBJETIVO: El objetivo principal es la determinación de un coeficiente que relacione, para la ciudad de lima, la resistencia ala compresión de concreto, curado bajo condiciones de laboratorio a edades no menores de 28 días, con la resistencia a compresión de elementos estructurales curados bajo condiciones de obra. En ambos casos será por procedimiento húmedo de probetas cilíndricas estándar.

MATERIALES EMPLEADOS

CEMENTO : PORTLAND ANDINO TIPO V, densidad = 3.15 gr/cm³

AGREGADOS:

Procedencia:

Agregado grueso: Cantera Jicamarca

Agregado fino Cantera Jicamarca

Cuadro 9.2.13.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso:

Cantera Jicamarca, Agregado fino: Cantera Jicamarca

	PROPIEDADES	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
1	Peso específico de masa	gr/cm ³	2.71	2.65
2	Absorción	(%)	1.11	0.71
3	Contenido de humedad	(%)	1.28	3.56
4	Peso aparente suelto	kg/m ³	1474	1747
5	Peso aparente compactado	kg/m ³	1656	1947
6	Modulo de fineza		6.37	3.21
7	Cantidad mat. Que pasa malla N°200	(%)		4.43

ADITIVO:

ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE RHEOBUILD 1000: Cumple con la especificación ASTM C 494 para aditivos reductores de agua tipo A y aditivos reductores de agua de alto rango tipo F

DISEÑO DE MEZCLA:

La dosificación de materiales del diseño patrón fue con un asentamiento de 0" para una relación a/c de 0.321, la dosificación de aditivo Rheobuild 1000 fue de 0.765 por cada bolsa de cemento de 42.5kg.

Cuadro 9.2.13.2.- Diseño patrón por metro cúbico de concreto, cemento Andino tipo V.

Materiales	a/c=0.321; slump = 0"	
	Seco (1m ³)	Húmedo (1m ³)
Cemento(kg)	510	510
Agua(lt)	178	163.93
Arena(kg)	768	791.0
Piedra(kg)	961	967.0

Cuadro 9.2.13.3.- Diseño con aditivo por metro cúbico de concreto, cemento Andino tipo V, Aditivo Rheobuild - 1000

Materiales	a/c=0.321; slump = 6"
	Húmedo (1m ³)
Cemento (kg)	510
Agua (lt.)	154.75
Ad. Rheobuild-1000(1.8% aditivo)	9.18
Arena (kg)	791
Piedra (kg)	967

Cuadro 9.2.13.4.- Propiedades del concreto al estado fresco, Cemento Andino tipo V, Aditivo Rheobuild - 1000

a/c	Diseño	Reducción de agua (%)	Peso unitario (kg/m ³)	Asentamiento (pulg)	Fluidez (%)	Exudación (%)	Tiempo de fragua (H:min)	
							inicio	final
0.321	Sin aditivo	0	2041	0"	100	0	3:21	5:25
0.321	con aditivo	5.59	2439	6"	90.3	0	8:21	9:05

METODOLOGÍA DEL CURADO DEL CONCRETO

1. **CURADO EN LABORATORIO.**- Se realizó con la inmersión total de las probetas de concreto durante 3, 7, 14, 28 y 42 días.
2. **CURADO CON AGUA POR ASPERSIÓN.**- Se curaba por este método cada vez que la superficie de las probetas presentaba la superficie semi-seca esto sucedía de acuerdo a la variación de la temperatura.
3. **CURADO CON AGUA Y YUTE.**- El yute fue envuelto lateralmente las probetas de concreto por aproximadamente 4mm de espesor, la cual fue atada con pabilo posteriormente fueron curadas con agua es decir se curaba cada vez que se observaba que la capa externa del yute esta semi-seca este procedimiento se hacía hasta 4 veces al día.
4. **CURADO CON CURADOR QUÍMICO MASTERKURE.**- Este curado se hizo utilizando el aditivo Masterkure, producido por MBT, el cual fue aplicado a la superficie de las probetas de concreto con brocha en dos capas delgadas y uniforme. La aplicación de este aditivo curador se hizo después de retirar el molde de las probetas.
5. **CURADO POR EL MEDIO AMBIENTE.**- Estas probetas preparadas igual con aditivo superplastificante Rheobuild 1000 fueron dejadas a la intemperie después de desencofrarlas, para que tomen la humedad del medio ambiente como elemento curador. La temperatura a la que estuvieron expuestas varió desde 19°C en las mañanas, 20°C por las tardes y 28°C al medio día.

Cuadro 9.2.13.5.- Resistencia a la compresión (kg/cm²) con Cemento Andino tipo V y Aditivo Rheobuild - 1000

Diseño	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)				
	3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	42 DIAS
Sin aditivo curadas en laboratorio	364	447	480	524	547
Con aditivo curados en laboratorio	408	502	540	575	590
Con aditivo curado con agua y yute	366	476	506	552	579
Con aditivo curado con agua y yute 3 días + intemperie	366	466	495	536	549
Con aditivo curado con agua y yute 7 días + intemperie	366	476	500	539	558
Con aditivo curado con agua y yute 14 días + intemperie	366	476	506	547	563
Con aditivo curado con agua y yute 28 días + intemperie	366	476	506	552	571
Con aditivo curado con agua por aspersion	358	432	466	493	531
Con aditivo curado con agua por aspersion 3 días + intemperie	358	419	449	461	502
Con aditivo curado con agua por aspersion 7 días + intemperie	358	432	455	478	511
Con aditivo curado con agua por aspersion 14 días + intemperie	358	432	466	484	515
Con aditivo curado con agua por aspersion 28 días + intemperie	358	432	466	493	522
Con aditivo curado con curador químico masterkure	354	433	452	490	497
Con aditivo curado por intemperie	343	409	445	455	478

9.2.14. TITULO: ESTUDIO DEL CONCRETO DE MEDIANA A BAJA RESISTENCIA, VARIANDO EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO CANTO RODADO, CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE.

AUTOR: GERMAN ELOY MAMANI MAMANI.

AÑO: 2002

OBJETIVO: El presente trabajo tiene por objetivo, el estudio de las características del concreto de mediana a baja resistencia; tanto en su estado fresco, como en su estado endurecido, incorporando el aditivo superplastificante de fraguado normal " EUCO 37" usando como variables el tamaño máximo del agregado grueso y la relación agua/cemento.

MATERIALES EMPLEADOS:

CEMENTO : PORTLAND SOL TIPO I, peso específico =3.11gr/cm³

AGREGADOS:

Se uso agregados de tres tamaños máximos: 1", ¾" y 1/2"

Procedencia:

Agregado grueso: Cantera Trapiche

Agregado fino Cantera Trapiche

Cuadro 9.2.14.1.- Propiedades de los agregados, Agregado grueso:

Cantera Trapiche, Agregado fino: Cantera Trapiche.

	PROPIEDADES	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
1	Peso específico de masa	gr/cm ³	2.618	2.578
2	Peso específico de masa s.s.s.	gr/cm ³	2.643	2.609
3	Peso específico aparente	gr/cm ³	2.687	2.660
4	Absorción	(%)	0.98	1.20
5	Contenido de humedad	(%)	0.46	1.17
6	Peso aparente suelto	kg/m ³	1.62	1.73
7	Peso aparente compactado	kg/m ³	1.71	1.91
8	Modulo de fineza		7.25	2.70
9	Superficie específica	cm ² /gr	3.38	55.33
10	Cantidad mat. que pasa malla N° 200	(%)		

ADITIVO:

ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE EUCO 37:

EUCO 37 es un aditivo reductor de agua de alto rango. Puede ser dosificado al concreto en la obra o en el la planta de concreto premezclado. No se utilizan cloruros en su formulación; por lo tanto se recomienda para concreto pretensado. Es también compatible con agentes incorporadores de aire, impermeabilizantes, cloruro de calcio y muchos otros aditivos ; sin embargo, cada material debe ser agregado al concreto por separado.

El concreto con EUCO 37 retiene su consistencia plástica de 30 a 60 minutos después de ser dosificado, dependiendo de los asentamientos iniciales y finales y las dosificaciones. EUCO 37 es un liquido fluido marrón oscuro, el cual cuando se agrega al concreto no cambia la apariencia natural del concreto.

LA DOSIFICACIÓN recomendada por el fabricante es de 0.5% a 1.5% sobre el peso del cemento.

APLICACIONES PRINCIPALES:

- Concreto de alto comportamiento.
- Concreto premezclado en general.
- Concreto fuertemente reforzado.
- Concreto para losas y concreto en masa.
- Concreto con un contenido mínimo de agua
- Concreto con baja relación de agua/cemento
- Concreto fluido de alto asentamiento.

CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS:

- Produce concreto de bajo contenido de agua y con baja relación agua/cemento, permitiendo lograr resistencias mas altas.
- produce concreto fluido con resistencias mas altas que los normales.
- Ayuda a la colocación del concreto y reduce costos de mano de obra.
- Cuando se utiliza en elementos prefabricados, con cemento tipo I, tendrá como resultado resistencias altas a edades tempranas.

PRECAUCIONES Y RESTRICCIONES:

- Se debe proteger el EUCO 37 contra el congelamiento .
- Se recomienda hacer diseños de mezclas de prueba dadas las variaciones en el cemento y agregados de cada lugar.
- No permita que el concreto se congele hasta que haya alcanzado una resistencia mínima de 70kg/cm².
- Se agrega a la mezcla independientemente de otros aditivos.

DISEÑO DE MEZCLA:

La relación utilizada de agua/cemento es de 0.60, 0.65 y 0.70 , la cantidad de aditivo utilizada fue de 1% del peso del cemento para todos los diseños, el concreto patrón fue con agregado de tamaño máximo de 1" y todos los diseños fueron con aditivo incluido el diseño patrón.

DISEÑO PATRÓN TANDA DE 96 KG DE CONCRETO (HÚMEDO):

Dosificación para cada relación agua cemento por tanda de 96kg de concreto usando T.M.A. = Tamaño Máximo Agregado = 1" sin aditivo.

Cuadro 9.2.14.2.- Diseño concreto Patrón, Cemento Sol tipo I.

Relación a/c	Materiales	TANDA DE 96 kg
0.60	Cemento(kg)	12.293
	Agua(lt)	7.613
	Arena(kg)	32.090
	Piedra(kg)	44.003
	suma	96.00
0.65	Cemento(kg)	11.265
	Agua(lt)	7.625
	Arena(kg)	32.475
	Piedra(kg)	44.532
	suma	96.00
0.70	Cemento(kg)	10.567
	Agua(lt)	7.640
	Arena(kg)	32.807
	Piedra(kg)	44.987
	suma	96.00

DISEÑO CON ADITIVO 96 KG DE CONCRETO (HUMEDO):

Dosificación para cada relación agua/cemento por tanda de 94.75 kg de concreto usando T.M.A=1" con aditivo.

Cuadro 9.2.14.3.- Diseño con aditivo 96 kg de concreto (húmedo), cemento Sol tipo I, Aditivo Superplastificante EUCO 37.

Relación a/c	Materiales	TANDA DE 96 kg
0.60	Cemento(kg)	12.293
	Agua(lt)	6.270
	Arena(kg)	32.090
	Piedra(kg)	44.003
	Aditivo 1% peso del cemento	0.123
0.65	Cemento(kg)	11.365
	Agua(lt)	6.27
	Arena(kg)	32.475
	Piedra(kg)	44.532
	Aditivo 1% peso del cemento	0.114
0.70	Cemento(kg)	10.567
	Agua(lt)	6.270
	Arena(kg)	32.807
	Piedra(kg)	44.987
	Aditivo 1% peso del cemento	0.106

Cuadro 9.2.14.4.- Propiedades del concreto al estado fresco, cemento Sol tipo I, Aditivo Superplastificante EUCO 37. Todos los diseños son con aditivo 1% del peso del cemento.

a/c	T.M.A (pulg)	Asentamiento (pulg)	Exudación	Fluidez (%)	Peso unitario (kg/m ³)	Tiempo de fragua (H:min)	
						inicio	final
0.60	1" (patrón)	3 ¾"	0.101	64.3	2443.78	5:24	6:49
	¾"	2 ¾"	0.087	58.7	2436.72	5:17	6:47
	½"	2"	0.063	57.0	2429.65	4:49	6:41
0.65	1" (patrón)	3 ½"	0.087	65.0	2429.65	5:13	7:04
	¾"	2 ½"	0.080	62.7	2422.59	5:05	6:55
	½"	1 ¾"	0.059	54.7	2415.53	4:58	6:44
0.70	1" (patrón)	3 ¼"	0.058	69.0	2422.59	5:36	7:07
	¾"	2 ¼"	0.044	66.3	2408.46	5:30	6:59
	½"	1 ½"	0.030	54.3	2394.34	5:14	6:42

Cuadro 9.2.14.5.- Resistencia a la compresión (kg/cm²) con cemento Sol tipo I, Aditivo Superplastificante EUCO 37. Todos los diseños son con aditivo 1% del peso del cemento.

a/c	Diseño	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
		7 días	14 días	28 días
0.60	1" (patrón)	295.59	301.62	334.22
	¾"	302.36	340.63	345.92
	½"	321.35	350.00	387.16
0.65	1" (patrón)	280.30	285.31	326.04
	¾"	285.12	318.27	341.07
	½"	307.61	332.36	362.85
0.70	1" (patrón)	234.0	288.74	309.31
	¾"	258.07	313.40	339.88
	½"	274.97	319.06	359.17

Cuadro 9.2.14.6.- Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm²) con cemento Sol tipo I, Aditivo Superplastificante EUCO 37. Todos los diseños son con aditivo 1% del peso del cemento.

a/c	Diseño	Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm ²)		
		7 días	14 días	28 días
0.60	1" (patrón)	24.12	26.23	28.20
	¾"	24.18	27.45	30.10
	½"	24.83	28.42	32.40
0.65	1" (patrón)	22.92	25.21	27.77
	¾"	23.11	26.32	28.36
	½"	23.41	27.35	30.18
0.70	1" (patrón)	22.55	22.73	26.58
	¾"	23.04	24.14	27.02
	½"	23.38	26.74	27.49

9.2.15. TITULO: ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y RETARDADOR DE FRAGUADO, CON CEMENTO PORTLAND TIPO I

AUTOR: ISMAEL ARI QUEQUE

AÑO: 2002

OBJETIVO: Analizar el comportamiento de un concreto preparado con cemento portland tipo I (cemento andino), al cual se le incorporara el aditivo superplastificante con retardador de fraguado sika visconcrete-1, a fin de determinar las variaciones que han de producirse con respecto a las características de un concreto patrón.

En el laboratorio se realizaran ensayos con un concreto normal y otro al cual se le ha añadido el aditivo **sika visconcrete-1** para luego hacer un análisis comparativo de sus propiedades tanto al estado fresco como al estado endurecido, tomando como patrón al concreto normal.

MATERIALES EMPLEADOS

CEMENTO : PORTLAND ANDINO TIPO I, peso específico = 3.11gr/cm^3

AGREGADOS:

Procedencia:

Agregado grueso: Cantera Jicamarca

Agregado fino Cantera Cerro Camote.

Cuadro 9.2.15.1-Propiedades de los agregados, Agregado grueso: Cantera Jicamarca, Agregado fino: Cantera Cerro Camote.

	PROPIEDADES	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
1	Peso específico de masa	gr/cm ³	2.62	2.60
2	Peso específico de masa s.s.s.	gr/cm ³	2.64	2.62
3	Peso específico aparente	gr/cm ³	2.68	2.69
4	Absorción	(%)	0.77	1.35
5	Contenido de humedad	(%)	0.34	2.04
6	Peso aparente suelto	kg/m ³	1418.47	1688.98
7	Peso aparente compactado	kg/m ³	2559.73	1926.89
8	Tamaño máximo	Pulg.	1"	--
9	Tamaño máximo nominal	Pulg.	3/4"	--
10	Modulo de fineza		7.21	2.51
11	Superficie específica	cm ² /gr	1.63	64.46
12	Cantidad mat. Que pasa malla N°200	(%)	--	11.30

ADITIVO: El aditivo utilizado en esta investigación fue el superplastificante **SIKA VISCROTE – 1**

DISEÑO DE MEZCLA:

La relación utilizada de agua/cemento es de 0.40, 0.45 y 0.50 , la cantidad de aditivo utilizada fue de 1%, 1.2% y 1.4% del peso del cemento para todos los diseños con aditivo, la optima combinación de agregados utilizada fue de 52% de arena y 48% de piedra.

Cuadro 9.2.15.2.- diseño del concreto patrón, pesos húmedos por m³ de concreto con cemento Andino tipo I

Materiales	a/c		
	0.40	0.45	0.50
Cemento(kg)	650	546.7	482.0
Agua(lt)	258	243.8	238.7
Arena(kg)	708.5	773.7	809.4
Piedra(kg)	643.1	702.3	734.7
Suma	2259.6	2266.5	2264.7

Cuadro 9.2.15.3.- Diseño del concreto con aditivo (humedo), con cemento Andino Tipo I y Aditivo superplastificante Sika Viscocrete 1

Materiales	a/c=0.40			a/c=0.45			a/c=0.50		
	1%adit.	1.2%adit.	1.4%adit.	1%adit.	1.2%adit.	1.4%adit.	1%adit.	1.2%adit.	1.4%adit.
Cemento(kg)	650	650	650	546.7	546.7	546.7	482.0	482	482
Agua(lt)	209	194.5	181.9	203.1	198.0	188.5	204.8	197.6	188.8
Arena(kg)	708.5	708.5	708.5	773.7	773.7	773.7	809.4	809.4	809.4
Piedra(kg)	643.1	643.1	643.1	702.3	702.3	702.3	734.7	734.7	734.7
Aditivo(kg)	6.5	7.8	9.1	5.47	6.56	7.65	4.82	5.78	6.75

Cuadro 9.2.15.4.- Propiedades del concreto al estado fresco con cemento Andino Tipo I y Aditivo superplastificante Sika Viscocrete- 1

a/c	Diseño	Reducción de agua(%)	a/c final	Asentamiento (pulg.)	Exudación	Fluidez (%)	Contenido de aire(%)	Peso unitario (kg/m ³)	Tiempo de fragua (H:min)	
									inicio	final
0.40	Patrón	0	0.40	3 ¼"	2.09	108.67	3.35	2337.86	5:04	7:29
	Con 1% de adit.	19	0.32	3 ¼"	0.60	109.33	6.30	2366.15	6:32	8:07
	Con 1.2%de adit.	24.6	0.30	4"	0.08	136.00	7.13	2373.22	6:32	8:47
	Con 1.4%de adit.	29.5	0.28	3 ½"	0.07	132.00	8.43	2394.41	7:03	9:19
0.45	Patrón	0	0.45	3"	2.25	124.66	4.21	2366.15	5:03	7:15
	Con 1% de adit.	16.7	0.37	3"	1.06	133.33	6.12	2376.75	6:06	8:15
	Con 1.2%de adit.	18.8	0.36	3"	1.13	140.00	6.57	2383.81	6:02	8:25
	Con 1.4%de adit.	22.7	0.34	4"	0.33	145.33	7.33	2394.41	6:37	8:57
0.50	Patrón	0	0.50	3"	2.36	71.33	4.86	2380.28	4:32	6:26
	Con 1% de adit.	14.2	0.42	3 ¼"	1.39	84.00	4.95	2352.03	5:03	6:57
	Con 1.2%de adit.	17.2	0.41	3 ¼"	1.11	94.67	6.06	2373.22	5:03	7:09
	Con 1.4%de adit.	20.9	0.39	3 1/2"	0.56	100.00	8.57	2429.72	5:04	7:19

Cuadro 9.2.15.5.- Resistencia a la compresión (kg/cm²), con cemento Andino Tipo I y Aditivo superplastificante Sika Viscocrete-1

a/c	Diseño	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)			
		7 días	14 días	28 días	42 días
0.40	Patrón	344.9	380.5	452.0	497.2
	Con 1% de adit.	443.7	528.7	798.6	857.1
	Con 1.2% de adit.	465.5	596.7	832.1	893.2
	Con 1.4% de adit.	523.2	665.5	936.5	1030.7
0.45	Patrón	313.6	348.7	400.2	430.7
	Con 1% de adit.	405.7	495.3	644.5	741.1
	Con 1.2% de adit.	444.4	535.2	733.7	802.4
	Con 1.4% de adit.	455.3	576.7	799.6	863.6
0.50	Patrón	293.5	318.6	376.2	420.8
	Con 1% de adit.	379.8	471.2	686.7	721.7
	Con 1.2% de adit.	410.7	494.1	708.5	753.7
	Con 1.4% de adit.	432.0	537.7	787.7	827.2

Cuadro 9.2.15.6.- Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm²), con cemento Andino Tipo I y Aditivo superplastificante Sika Viscocrete-1

a/c	Diseño	Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm ²)
		28 días
0.40	Patrón	39.9
	Con 1% de adit.	47.8
	Con 1.2% de adit.	51.5
	Con 1.4% de adit.	52.4
0.45	Patrón	39.3
	Con 1% de adit.	39.3
	Con 1.2% de adit.	41.6
	Con 1.4% de adit.	49.4
0.50	Patrón	38.8
	Con 1% de adit.	35.7
	Con 1.2% de adit.	46.5
	Con 1.4% de adit.	47.7

CAPITULO X

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS DIVERSOS ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES Y TIPOS DE CEMENTO

10.1. GENERALIDADES

En los estudios realizados en las tesis elaboradas en la UNI tenemos 12 aditivos superplastificantes estudiados en 15 tesis, cuyos aditivos se enumeran a continuación: Sikament, Muroxment, PSP-N2, Sikament 10, PSP-L, Z.Fluidizante, EUCO 537, Sikament FF, Sikament FF-86, Rheobuild 1000, Euco 37, Sika Viscocrete-1; estos aditivos han sido estudiados en diferentes mezclas de concreto, donde varía el tipo de cemento, la relación agua/cemento, la dosificación de aditivo, etc.

Debido al desconocimiento de la composición de estos aditivos, ya que las empresas solo indican la presencia de algún componente, la interpretación de resultados es imposible, pudiendo tan solo efectuar comparaciones entre los resultados de los estudios realizados. Actualmente algunas empresas adjuntan a la ficha técnica del aditivo una ficha de datos de seguridad en la que se indican los componentes principales del aditivo, precauciones en su empleo, acciones a seguir ante posibles accidente con el aditivo, etc.

Para realizar un análisis se usó la Norma ASTM C-494 Tipo F Para aditivos reductores de agua de alto rango en cuya norma se analiza propiedades al estado fresco y endurecido, para nuestro análisis se tendrá presente: la Reducción de Agua, Tiempo de fragua y Resistencia a la compresión cuyas propiedades son las principales.

10.2. EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE TESIS ANTERIORES

En el cuadro 10.2.1 se presenta un análisis de los estudios efectuados en la UNI, comparando los resultados obtenidos con los requisitos indicados en la Norma ASTM C-494 Para aditivos reductores de agua de alto rango Tipo F, para así determinar si los aditivos cumple los requerimientos de esta Norma, cabe señalar que en algunas de las tesis no se pueden extraer conclusiones sobre el desempeño del aditivo superplastificante ya que son combinados con

otros aditivos, los cuales originan cambios adicionales en las propiedades, los cuales no se pueden tomar por separado.

10.2.1. REQUERIMIENTOS DE LA NORMA ASTM C-494 TIPO F

- Aditivos Superplastificantes: Tipo F

- Reducción de agua:
 Mínimo 12%

- Tiempo de Fragua(min.):
 Inicial: no mas de 60 ni 90 después
 Final: no mas de 60 ni 90 después

- Incremento en la resistencia a la compresión:
 - 1 Día : 140%
 - 3 Días : 125%
 - 7 Días : 115%
 - 28 Días : 110%
 - 6 Meses: 100%
 - 1 Año : 100%

10.3. ESTUDIO COMPARATIVO DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES ANALIZADOS

La tabla que a continuación se muestra, sintetiza los estudios comparativos que se han realizado entre todas las tesis anteriores que han utilizado algún tipo de superplastificante respecto a esta en que se ha usado el aditivo Sika viscoconcrete-3, así también se pone en claro la procedencia de sus respectivos agregados, el tipo de cemento y el aditivo superplastificante utilizado.

Para hacer un análisis comparativo entre las investigaciones consultadas se analizaron valores importantes, como es la resistencia promedio a compresión, reducción de agua, relación a/c, porcentaje de aditivo usado, así como también los tipos y procedencia de materiales usados.

En pocas palabras podemos mencionar su uso de la siguiente manera:

Si se necesitara diseñar un concreto que tenga que cumplir ciertas características básicas (f_c) a los 28 días, se toma la tabla y se podrán encontrar valores que están en un rango lo más aproximados posibles respecto a un f_c predeterminado. En sus respectivos casilleros consecutivos se da una muestra de las cantidades de aditivo en peso respecto al cemento que han de utilizarse para diseñar concreto cercano al f_c buscado, así como las canteras de las que proceden los agregados, sus respectivas reducciones de agua si las hubiese y obtenido para dichos valores. Finalmente se observa en la última columna la resistencia real que se obtuvo en laboratorio a los 28 días.

Teniendo estos consejos como preliminares podemos ya mostrar la tabla en cuestión a continuación:

TABLA COMPARATIVA FINAL DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES ANALIZADOS

CAPITULO XI

ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTO - BENEFICIO DE LOS ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES

En este capítulo pasaremos a mostrar los costos que implican la elaboración del concreto utilizado en la presente tesis, a saber concreto de Alta resistencia en relación $a/c = 0.45$ y con el uso del aditivo superplastificante Sika Viscocrete 3, en tres diferentes dosificaciones de 0.4, 0.8 y 1.2% en peso del cemento de la mezcla diseñada.

Además del correspondiente costo que implica la elaboración del concreto, también presentamos cuadros finales correspondiente en donde se pueden apreciar, los diferentes precios de los diseños de mezcla de concreto utilizados por las distintas tesis de investigación que se han tomado en cuenta para el análisis comparativo respectivo; éstos en soles por metro cúbico de concreto, provienen de sendas partidas debidamente actualizadas a la fecha y consideran para todos los casos los precios de los diversos aditivos que utilizan para cada respectiva investigación cuyos precios incluyen el IGV, así como respetando los diferentes diseños y dosificaciones apropiadamente resaltadas y de las que ya se ha hablado en capítulos precedentes con gran amplitud.

La diferencia de costos en algunos casos es alta entre los diferentes diseños (incluso en un mismo rango de resistencia), se deben en su mayoría a los diferentes elementos usados para el concreto, como por ejemplo diferentes canteras, tipos de cemento y sobre todo diferentes aditivos.

Los precios para calcular el m^3 de concreto son al 31 de enero del 2005

Como se muestra en los cuadros siguientes los incrementos en los costos unitarios por metro cúbico de concretos son disminuidos cuando se toma en cuenta el incremento en la resistencia a la compresión originada por el uso del aditivo superplastificantes cuyo aditivo tienen la propiedad de reducir la cantidad de agua en consecuencia la disminución de la relación a/c .

Sin embargo en los análisis de los cuadros siguientes no se consideran factores que también originaran costos, tales como uso de encofrados, protección del concreto, esperas técnicas etc. No se tomaron en cuenta estos

costos debido a que son específicos para cada aplicación en obra, y no es valido determinarlos en forma general, debido al numero elevado de variables a tomar en cuenta. Para determinar el costo-beneficio real aplicado en una obra especifica deberán tomarse en cuenta estos factores para tener un valor real, ya que la relación costo – beneficio indicada en esta sección solo considera los costos de los materiales utilizados.

A continuación los cuadros

Cuadro 11.1.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto patrón, cemento Tipo I y relación a/c=0.45

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (S/.)	PARCIAL
CEMENTO	kg	527.22	0.412	217.21
AGUA	l	248.87	0.0012	0.30
ARENA	m ³	0.308	17.70	5.45
PIEDRA	m ³	0.257	27.00	6.94
TOTAL (Soles/m ³)				229.90

*Precios incluyen IGV

Cuadro 11.2.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo I, 0.4% de aditivo sika visocrete 3 y relación a/c=0.45

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (S/.)	PARCIAL
CEMENTO	kg	527.22	0.412	217.21
AGUA	l	200.62	0.0012	0.24
ARENA	m ³	0.308	17.70	5.45
PIEDRA	m ³	0.257	29.50	7.58
ADITIVO	kg	2.226	27.00	60.10
TOTAL (Soles/m ³)				290.59

*Precios incluyen IGV

Cuadro 11.3.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo I, 0.8% de aditivo sika visocrete 3 y relación a/c=0.45

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (S/.)	PARCIAL
CEMENTO	kg	527.22	0.412	217.21
AGUA	l	174.12	0.0012	0.21
ARENA	m ³	0.308	17.70	5.45
PIEDRA	m ³	0.257	29.50	7.58
ADITIVO	kg	4.588	27.00	123.88
TOTAL (Soles/m ³)				354.33

*Precios incluyen IGV

Cuadro 11.4.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo I, 1.2% de aditivo sika viscocrete 3 y relación a/c=0.45

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (S/.)	PARCIAL
CEMENTO	kg	527.22	0.412	217.21
AGUA	l	163.77	0.0012	0.20
ARENA	m ³	0.308	17.70	5.45
PIEDRA	m ³	0.257	29.50	7.58
ADITIVO	kg	6.951	27.00	187.68
TOTAL (Soles/m ³)				418.12

*Precios incluyen IGV

Cuadro 11.5.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto patrón, cemento Tipo V y relación a/c=0.45

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (S/.)	PARCIAL
CEMENTO	kg	474.07	0.588	278.75
AGUA	l	225.82	0.0012	0.27
ARENA	m ³	0.330	17.70	5.84
PIEDRA	m ³	0.276	27.00	7.45
TOTAL (Soles/m ³)				292.32

*Precios incluyen IGV

Cuadro 11.6.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo V, 0.4% de aditivo sika viscocrete 3 y relación a/c=0.45

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (S/.)	PARCIAL
CEMENTO	kg	474.07	0.588	278.75
AGUA	l	187.60	0.0012	0.23
ARENA	m ³	0.330	17.70	5.84
PIEDRA	m ³	0.276	29.50	8.14
ADITIVO	kg	1.973	27.00	53.27
TOTAL (Soles/m ³)				346.23

*Precios incluyen IGV

Cuadro 11.7.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo V, 0.8% de aditivo sika visocrete 3 y relación a/c=0.45

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (S/.)	PARCIAL
CEMENTO	kg	474.07	0.588	278.75
AGUA	l	154.21	0.0012	0.19
ARENA	m ³	0.330	17.70	5.84
PIEDRA	m ³	0.276	29.50	8.14
ADITIVO	kg	4.100	27.00	110.70
TOTAL (Soles/m ³)				403.62

*Precios incluyen IGV

Cuadro 11.8.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo V, 1.2% de aditivo sika visocrete 3 y relación a/c=0.45

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (S/.)	PARCIAL
CEMENTO	kg	474.07	0.588	278.75
AGUA	l	142.85	0.0012	0.17
ARENA	m ³	0.330	17.70	5.84
PIEDRA	m ³	0.276	29.50	8.14
ADITIVO	kg	6.219	27.00	167.91
TOTAL (Soles/m ³)				460.82

*Precios incluyen IGV

Cuadro 11.9.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto patrón, cemento tipo IP y relación a/c=0.45

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (S/.)	PARCIAL
CEMENTO	kg	562.69	0.353	198.63
AGUA	l	264.18	0.0012	0.32
ARENA	m ³	0.290	17.70	5.13
PIEDRA	m ³	0.242	27.00	6.53
TOTAL (Soles/m ³)				210.61

*Precios incluyen IGV

Cuadro 11.10.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo IP, 0.4% de aditivo sika viscocrete 3 y relación a/c=0.45

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (S/.)	PARCIAL
CEMENTO	kg	562.69	0.353	198.63
AGUA	l	230.05	0.0012	0.28
ARENA	m ³	0.290	17.70	5.13
PIEDRA	m ³	0.242	29.50	7.14
ADITIVO	kg	2.336	27.00	63.07
TOTAL (Soles/m ³)				274.25

*Precios incluyen IGV

Cuadro 11.11.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo IP, 0.8% de aditivo sika viscocrete 3 y relación a/c=0.45

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (S/.)	PARCIAL
CEMENTO	kg	562.69	0.353	198.63
AGUA	l	205.40	0.0012	0.25
ARENA	m ³	0.290	17.70	5.13
PIEDRA	m ³	0.242	29.50	7.14
ADITIVO	kg	4.809	27.00	129.84
TOTAL (Soles/m ³)				340.99

*Precios incluyen IGV

Cuadro 11.12.- Calculo del costo de un metro cúbico de concreto, cemento Tipo IP, 1.2% de aditivo sika viscocrete 3 y relación a/c=0.45

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (S/.)	PARCIAL
CEMENTO	kg	562.69	0.353	198.63
AGUA	l	179.96	0.0012	0.22
ARENA	m ³	0.290	17.70	5.13
PIEDRA	m ³	0.242	29.50	7.14
ADITIVO	kg	7.372	27.00	199.04
TOTAL (Soles/m ³)				410.16

*Precios incluyen IGV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta sección estableceremos las conclusiones y recomendaciones que se derivan de La investigación.

CONCLUSIONES:

DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL EFECTUADO EN EL LEM-FIC:

CONCRETO FRESCO

1. El contenido optimo de aditivo Sika Viscocrete-3 hallado para concretos plásticos es de 0.8% el valor recomendado por el fabricante es de 0.4% a 1.2%, en el proceso de ensayos cuando se utiliza el aditivo Sika Viscocrete-3 en porcentaje de 1.2% se produce incertidumbre al tratar de conseguir asentamiento entre 3" y 4" y al mismo tiempo obtener mezclas trabajables y mas aun mezclas con homogeneidad garantizada, por tal motivo la dosificación de 1.2% se recomienda para concretos fluidos y autocompactantes mas no para concretos plásticos, cabe recalcar que con dicha dosificación de 1.2% de aditivo se obtienen las mayores resistencias a compresión.
2. Se concluye que cuando se adiciona el aditivo superplastificante Sika Viscocrete 3 a la mezcla, el índice de fluidez se incrementa ostensiblemente para la primera dosificación, aumentando altamente para las siguientes dosificaciones.

Podemos observar dichas variaciones en la siguiente tabla:

VARIACION DEL INDICE DE FLUIDEZ

DOSIFICACION	VARIACION (%)		
	CPTI	CPTV	CPTIP
Patrón	100.00	100.00	100.00
Patrón + 0.4% Aditivo	103.62	104.81	110.79
Patrón + 0.8% Aditivo	118.12	109.09	122.30
Patrón + 1.2% Aditivo	178.26	121.39	161.15

3. En lo que respecta a la exudación, por el hecho de utilizar el superplastificante como aditivo reductor de agua, se pudo observar que en las dosificaciones con aditivo y cemento tipo I y tipo IP la exudación disminuye hasta 0% a mayor porcentaje de aditivo, lo contrario sucede con el cemento tipo V cuya exudación aumenta a mayor porcentaje de aditivo. El porcentaje de exudación a continuación mencionados pertenecen a las muestras de concreto patrón: para los tres tipos de cemento: Tipo I, 2.244%, Tipo V, 1.871% y Tipo IP, 0.396%
4. Para el peso unitario del concreto fresco, cuando se le adiciona el aditivo la variación que sufre no es muy considerable respecto al concreto patrón; dicha variación en porcentaje se muestra a continuación:

VARIACION DEL PESO UNITARIO

DOSIFICACION	VARIACION (%)		
	CPTI	CPTV	CPTIP
Patrón	100.00	100.00	100.00
Patrón + 0.4% Aditivo	101.99	100.00	100.67
Patrón + 0.8% Aditivo	102.88	100.43	101.12
Patrón + 1.2% Aditivo	103.76	102.16	104.04

5. Con respecto a la reducción de agua cumple los requerimientos de la norma ASTM-494 para aditivos superplastificantes tipo F, en los diseños con aditivo con una reducción de agua que varía entre el 13% y 34% a excepción del diseño **con cemento tipo IP** en una dosificación de **0.4%** de aditivo, que solo se logra un 10% de reducción de agua.
6. Cumple parcialmente los requisitos de la norma ASTM-494 para aditivos superplastificantes tipo F con respecto al tiempo de Fragua:
- Cemento Tipo I – Sol:** La fragua Inicial no cumple para una dosificación de aditivo de 1.2%, referente a la fragua final no cumple para 0.8 y 1.2% de aditivo
- Cemento Tipo V – Andino:** La fragua inicial y final no cumple para 0.8 y 1.2% de aditivo.

Cemento Tipo IP – Atlas: La fragua inicial cumple para todos los diseños y la fragua final no cumple para 1.2% de aditivo

CONCRETO ENDURECIDO:

7. Con respecto al cumplimiento de los requisitos de la norma ASTM-494 para aditivos superplastificantes tipo F referente a la resistencia a la compresión cumple parcialmente:

Edad 1 Día: No cumple para el diseño de 0.4% de aditivo con cemento Tipo I Sol

Edad 3 Días: con cemento Tipo I Sol no cumple para 0.4% de aditivo, con cemento Tipo V Andino cumple satisfactoriamente, con cemento tipo IP Atlas no cumple para 0.4% de aditivo

Edad 7 Días: Con cemento Tipo I Sol no cumple para 0.4% de aditivo, con cemento Tipo V Andino cumple satisfactoriamente, con cemento Tipo IP no cumple para 0.4% de aditivo.

Edad 28 Días: Cumple para todos los diseños de concreto y todos los tipos de cemento.

8. Concluimos que para los tres tipos de cemento, la resistencia a la compresión a la edad de 28 días, aumenta considerablemente cuando se utiliza el aditivo superplastificante Sika Viscocrete 3 como reductor de agua, logrando los máximos valores para la dosificación más alta: 1.2%; así tenemos el siguiente cuadro:

VARIACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

DOSIFICACION	VARIACION (%)		
	CPTI	CPTV	CPTIP
Patrón	100.00	100.00	100.00
Patrón + 0.4% Aditivo	116.13	126.26	130.20
Patrón + 0.8% Aditivo	117.87	124.81	135.72
Patrón + 1.2% Aditivo	145.00	151.69	193.05

9. En lo referente al ensayo de tracción por compresión Diametral- a los 28 días de edad, encontramos también un muy significativo aumento de la resistencia respecto al patrón, aumentando principalmente (para los tres tipos de cemento) cuando se adiciona la máxima dosificación de aditivo (mayor reducción de agua), sólo se usaron patrones y máxima dosificación: 1.2%.

VARIACION DE LA RESISTENCIA A LA TRACCION

DOSIFICACION	VARIACION (%)		
	CPTI	CPTV	CPTIP
Patrón	100.00	100.00	100.00
Patrón + 1.2% Aditivo	116.13	126.26	130.20

DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS EN LA UNI – FIC:

10. Los aditivos analizados en las investigaciones realizadas en la FIC-UNI cumplen parcialmente los requerimientos de la norma ASTM C-494 para reductores de agua de alto rango TIPO F, el aditivo que mejor cumple con los requerimientos de la norma es el **Sika viscocrete-1** que es un aditivo de tercera generación.
11. En todos los casos los aditivos superplastificantes aumentan sus resistencias mecánicas en forma bastante significativa, sobretodo los llamados de tercera generación como son los Sika Viscocrete 1 y Sika Viscocrete 3, con los cuales se llegan a resistencias a la compresión tan altas como 800 y 900 kg/cm² aproximadamente.

Las máximas resistencias se han encontrado con el uso del cemento Pórtland Tipo I Andino y agregado grueso de la cantera de Jicamarca, con arena del Cerro Camote, y en promedio con ambos agregados de la mencionada cantera de Jicamarca. Este aumento de la resistencia a la compresión va acompañado de una reducción del agua de diseño de hasta un 30% y una relación a/c de 0.40.

12. Respecto al costo de las mezclas diseñadas en las tesis en estudio podemos concluir que la más óptima respecto a la estudiada en esta investigación es la que corresponde al aditivo EUCO 37 con una reducción de hasta el 17% para un rango de f_c de 300 a 380 kg/cm² tiene un costo de 161.10 soles/m³, según el mas alto incremento en precio esta determinado al aditivo Zfluidizante S.R. con una reducción de agua de 2.3 a 13% para un rango de f_c de 280 a 400 tiene un costo aprox. 430 soles/m³.
13. Como conclusión llegamos a determinar la mezcla más económica en todas las estudiadas a aquella que alcanza un gran incremento en su resistencia mecánica a la compresión y a la vez un precio adecuado en lo referente a concretos de mediana a alta resistencia, en promedio para f_c medianos (350 kg/cm²), aquella mezcla que ha sido diseñada con el aditivo EUCO 37 y cemento Portland Tipo I - Sol tiene un valor de 161.10 sole/m³ para concretos cercanos a las altas resistencias tenemos los diseños de Sikaviscocrete 1, los cuales bordean precios que van desde 324.17 soles/ m³ (700 kg/cm²) hasta los 408.04 soles/m³ (925 kg/cm²).
14. En tanto con el aditivo Sika viscocrete-3 para una resistencia aprox. de 700kg/cm² los precios están en un rango de 410 a 460.8 soles/m³ dependiendo del tipo de cemento, cuyos precios nos resulta muy elevados en comparación con el aditivo Sika Viscocrete-1 que solo nos cuesta 324.17 soles/m³ para la misma resistencia a compresión.
15. En general la tabla final comparativa presentada en el capítulo X y XI presenta en forma clara y detallada la comparación a nivel técnico y económico que el diseñador precisa para escoger con cautela y con precisión el diseño que más le atañe respecto a su necesidad, se comparo precios de productos que solo están el mercado.

RECOMENDACIONES:

1. Se recomienda especial atención durante la dosificación del aditivo Sika Viscocrete 3, puesto que una sobredosis resultaría en un cambio total de la consistencia de la mezcla, la cuál se vería superfluidificada.
2. Es recomendable también su uso como aditivo fluidificante para lugares estrechos o entramados masivos de armaduras, donde la mezcla se acomoda perfectamente.
3. Es imprescindible encontrar una mezcla ideal tras varios ensayos de consistencia y compresión para hallar el concreto que necesitamos para nuestra edificación, esto es muy importante incluso para hallar la cantera mas adecuada.
4. Para el uso de la Tabla Final comparativa, ha de buscarse una resistencia en la primera columna y según las siguientes proporciones pasar a diseñar la mezcla correspondiente.
5. Es necesario precisar que a pesar de haberse hecho un estudio objetivo y coherente en lo que se refiere al análisis comparativo de los aditivos presentados, es de total responsabilidad del diseñador comprobar bajo su responsabilidad los alcances de los diseños por él elaborados, a través de los ensayos mecánicos y físicos que pueda creer por conveniente.
6. Se recomienda en adelante para futuros estudios sobre este tema elaborar cada vez tablas y diagramas más detallados y que tengan una gama mucho más amplia de aditivos para concreto, es decir, abarcar mayores características que estos puedan otorgar a las mezclas a las cuales han sido añadidos.

Bibliografía:

- | | | |
|------------|---|---|
| 1. Título | : | CONCRETO: Estructura, propiedades y materiales |
| Autor | : | P. Kumar Mehta, Paulo J.M. Monteiro. |
| Editorial | : | Instituto Mexicano del Cemento y del concreto, A.C.,
México-1998 |
| Biblioteca | : | Personal. |
| Contenido | : | Estructura del concreto, resistencia, cementos
hidráulicos, aditivos y proporcionamiento de las
mezclas de concreto. |
| | | |
| 2. Título | : | Diseño de mezclas. |
| Autor | : | Enrique Rivva López. |
| Editorial | : | Editorial Hozlo SCRL, Perú-1992. |
| Biblioteca | : | Personal. |
| Contenido | : | Criterios básicos en el diseño, pasos en el diseño de
la mezcla, selección de resistencia promedio,
relaciones agua cemento por resistencia y por
durabilidad, cálculo del contenido de cemento y de
la selección de agregados. |
| | | |
| 3. Título | : | Tecnología del concreto. |
| Autor | : | Enrique Rivva López. |
| Editorial | : | Centro de Estudiantes de Ingeniería Civil de la UNI,
Lima-1981. |
| Biblioteca | : | Facultad de Ingeniería Civil de la UNI. |
| Contenido | : | Naturaleza del concreto, fraguado, módulo de finura,
trabajabilidad, peso unitario, exudación y resistencia
del concreto. Ensayos de laboratorio. |
| | | |
| 4. Título | : | Naturaleza y materiales del concreto. |
| Autor | : | Enrique Rivva López. |
| Editorial | : | American Concrete Institute, 1ra. edición, Lima-2000. |
| Biblioteca | : | Facultad de Ingeniería Civil de la UNI. |

- Contenido : Naturaleza y materiales del concreto, definición, importancia de sus propiedades, requisitos de las mezclas, consideraciones generales sobre los agregados: fino y grueso, canteras.
5. Título : Tecnología del concreto.
 Autor : Adam Neville, J. J. Brooks.
 Editorial : Trillas, México-1998.
 Biblioteca : Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.
 Contenido : El cemento; calidad del agua; mezcla, manejo y compactación del concreto; resistencia, desarrollo de la resistencia, pruebas.
6. Título : Tópicos de tecnología del concreto en el Perú.
 Autor : Enrique Pasquel Carvajal.
 Editorial : Colegio de Ingenieros del Perú, 1ra. edición, Lima-1993.
 Biblioteca : Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.
 Contenido : Componentes del concreto: cemento, agua, agregados; evaluación estadística de los resultados de los ensayos de resistencia en el concreto. Diseños de mezclas para concretos normales.
7. Título : Manual de tecnología del concreto. Tomos 1, 2 y 3.
 Autor : Instituto de Ingeniería de la UNAM.
 Editorial : Limusa, 1ra. edición, México-1994.
 Biblioteca : Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.
 Contenido : Tomo 1: Definición y requisitos de los componentes del Concreto, cementos con clinker Pórtland. Agua para concreto y aditivos para concreto, pruebas de verificación.
 Tomo 2: Características y propiedades del concreto fresco, evolución de los cambios de estado del

concreto, consistencia, grados de consistencia, ensayos en el concreto fresco.

Tomo 3: Características y propiedades del concreto endurecido, resistencias mecánicas, compresión, flexión y tracción.

8. Título : Aditivos y tratamientos de morteros y hormigones.
 Autor : Michael Venuat.
 Editorial : Editores Técnicos Asociados. Barcelona, España-1972.
 Biblioteca : Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.
 Contenido : Razones para el empleo de aditivos, modificación del concreto, lechada y mortero frescos y endurecidos.
9. Título : Aditivos para los hormigones.
 Autor : M. R. Rixón.
 Editorial : Editores Técnicos Asociados. Barcelona, España-1984.
 Biblioteca : Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.
 Contenido : Uso de aditivos, propiedades que desatan estos en las mezclas y en los diseños del hormigón.
10. Título : Boletines Técnicos N° 1 al N° 58.
 Autor : Asociación de Productores de Cemento.
 Editorial : ASOCEM, 1983-1993.
 Biblioteca : Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.
 Contenido : Granulometría de la arena y de los agregados gruesos, características, resistencia, durabilidad y muestreo de los agregados; proceso de fabricación, normalización y especificaciones del cemento; agua de amasado y curado; mezclado, curado y ensayo del concreto.

11. Título : Supervisión de obras de concreto.
- Autor : Enrique Pasquel, Ana Biondi.
- Editorial : American Concrete Institute – Capítulo peruano, 1ra. Edición, Lima-1993.
- Biblioteca : Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.
- Contenido : La tecnología del concreto y sus antecedentes, conceptos, componentes del concreto. Propiedades principales del concreto fresco: trabajabilidad, segregación, exudación, contracción. Propiedades principales del concreto endurecido.
12. Título : Diseño de mezclas por el método del agregado global y módulo de finura, para concretos de mediana a alta resistencia.
- Autor : Rafael Cachay Huamán.
- Editorial : Tesis N° 3280, UNI-FIC-1995.
- Biblioteca : Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.
- Contenido : Estudio teórico del agregado global, definiciones, módulo de finura. Diseño y dosificación, selección de proporciones empleando el método del comité 211 del ACI, ensayos en el concreto fresco y endurecido.
- Estudio de la granulometría de los agregados y su influencia en la mezcla de concreto final.
13. Título : Estudio de las propiedades del concreto al estado fresco y endurecido de mediana a alta resistencia con aditivo superplastificante y retardador de fraguado, con Cemento Pórtland Tipo I.
- Autor : Ismael Ari Queque.
- Editorial : Tesis N° 4145, UNI-FIC-2002.
- Biblioteca : Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.
- Contenido : Características del cemento; procedimientos de ensayo, uso de

aditivo superplastificante para el diseño de mezclas.

14. Título : Aditivos superplastificantes en el concreto.
 Autor : Alfonso Manuel Cossio Bolaños.
 Editorial : Tesis N° 4068, UNI-FIC-2001.
 Biblioteca : Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.
 Contenido : Uso de superplastificantes en la mezcla de concreto, dosificación y diseño de mezclas, procedimientos de ensayo, ejecución y desmolde de muestras.
15. Título : Estudio de la influencia del aditivo superplastificante y reductor de agua de alto rango, sobre las propiedades del concreto.
 Autor : Richard Hugo Reymundo Gamarra.
 Editorial : Tesis N° 3283, UNI-FIC-1998.
 Biblioteca : Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.
 Contenido : Influencia total del mencionado aditivo superplastificante en las propiedades mecánicas del concreto así como sobre sus propiedades al estado fresco.
16. Título : Investigación del concreto de alta resistencia: Metodología de obtención y determinación de las propiedades de los concretos de 550-1200 kg/cm².
 Autor : Patricia Mary Morales Alfaro.
 Editorial : Tesis N° 3955, UNI-FIC-2000.
 Biblioteca : Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.
 Contenido : Ensayos llevados a cabo sobre concreto de alta resistencia y propiedades de los mismos.