



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



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

**"SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE
NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE
CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHIMBOTE-2015"**

TESISTAS:

Bach. GUZMÁN ROJAS YHEYSON JHON

Bach. GUZMÁN ROJAS ESTHEFANY LISSET

ASESOR:

ING. JULIO CÉSAR RIVASPLATA DÍAZ

NUEVO CHIMBOTE-PERÚ

2015



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**"SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE
NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO
ESTRUCTURAL EN CHIMBOTE-2015"**

REVISADO POR:

**ING. JULIO CÉSAR RIVASPLATA DÍAZ
ASESOR**



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL

DE INGENIERÍA CIVIL



**"SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE
NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO
ESTRUCTURAL EN CHIMBOTE-2015"**

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

Sustentado por el siguiente jurado:

Ing. Janet Saavedra Vera
Presidenta

Ing. Julio César Rivasplata Díaz
Integrante

Ing. Cirilo Olascuaga Cruzado
Secretario



DEDICATORIA

A mis padres: Regina Rojas Solano y Luis Guzmán Araujo por todo el apoyo brindado, y por la educación que me inculcaron en todos estos años, todos mis logros y mis triunfos que logre, será gracias a ustedes. Muchas gracias.

Mis abuelos: Agradecer a mis abuelos Sra. Idalia, Sra Martina, Sr. Juan y Sr. Agustín por brindarme a unos padres excepcionales que me supieron guiar hacia las sendas del bien.

A mis hermanas: Lisset y Jennifer por estar siempre acompañándome en cada etapa de vida.

A mis compañeros: A todos mis amigos, por brindarme su amistad.

Yheyson Jhon



DEDICATORIA

A mis padres: Regina Rojas Solano y Luis Guzmán Araujo, con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo lo posible para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que mi camino se terminaba, y que aun así siguen conmigo en mi nueva vida, a ustedes por siempre mi corazón.

Benjamín y Ángela: Por su motivación, respeto, apoyo, amor y comprensión en todo este tiempo que están a mi lado, a ustedes todo mi amor por siempre.

A mi hermano: Que me has acompañado y apoyado en todos estos años desde que naciste, en jardín, primaria, secundaria y estudios superiores.

A mis compañeros: Que me acompañaron en mi etapa universitaria, por su amistad y respeto.

Lisset Guzmán



AGRADECIMIENTO

A nuestros padres que siempre estuvieron presentes en cada momento de nuestras vidas y con su esfuerzo lograron que culminemos nuestra carrera universitaria.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA por darme la oportunidad de estudiar y ser profesionales.

De la misma manera al Ing. Julio Rivasplata Díaz quien ha logrado a lo largo de la vida universitaria inculcar en nosotros la pasión hacia nuestra carrera.

También nos gustaría agradecer a nuestros profesores que durante toda nuestra carrera profesional aportaron sus conocimientos obtenidos en su experiencia profesional para poder lograr en nosotros unos buenos profesionales a futuro.

Son muchas las personas que han formado parte de nuestras vidas en el ámbito profesional a las que nos encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles y más alegres de nuestra vida. Algunas están aquí con nosotros y otras en nuestros recuerdos y en nuestro corazón, sin importar en donde estén queremos darles las gracias por formar parte de nuestras vidas, por todo lo que nos han brindado y por todas sus bendiciones.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....	3
1.1. ASPECTOS INFORMATIVOS	3
1.1.1. Título	3
1.1.2. Tipo de investigación.....	3
1.1.3. Ubicación.....	3
1.2. PLAN DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1. Antecedentes.....	3
1.2.2. Planteamiento del problema.....	10
1.2.3. Objetivos.....	11
1.2.3.1. Objetivos generales.....	11
1.2.3.2. Objetivos específicos.....	11
1.2.4. Hipótesis.....	12
1.2.5. Variables.....	12
1.2.5.1. Variable independiente.....	12
1.2.5.2. Variable dependiente.....	13
1.2.5.3. Variable interviniente	13
1.2.6. Tipo de diseño	13
1.2.7. Estrategia de trabajo	13
1.2.7.1. Método de estudio	13
1.2.7.2. Población.....	14
1.2.7.3. Muestra	14
1.2.8. Justificación.....	14



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	16
2.1. CONCRETO	16
2.1.1. Generalidades	16
2.1.2. Elementos que conforman el concreto	16
2.1.3. Propiedades del concreto	28
2.1.4. Diseño de Mezcla del Concreto.....	36
2.1.5. Ensayos para la elaboración del concreto en el laboratorio (MTC E702).....	55
2.1.5.1. Mezcla de concreto:	55
2.1.5.2. Determinación del asentamiento de la mezcla del concreto. (MTC E 705 2000, NTP 339.035, ASTM C 143).....	56
2.1.5.3. Elaboración y curado de probetas cilíndricas en obra. (MTC E 702 2000, NTP 339.033, ASTM C 31)	61
2.1.6. Ensayo de control de Calidad del concreto Endurecido.....	64
2.1.6.1. Resistencia a la comprensión (NTP. 339.034)	64
2.1.6.2. Resistencia a Tracción por Compresión Diametral (NTP 339.084).....	70
2.1.6.3. Determinación de la densidad, absorción y porcentaje de vacíos. (NTP 339.084, UNE 12390 – 7:2000)	72
2.1.6.4. Determinación del Módulo de Elasticidad estático en comprensión del concreto endurecido. (ASTM C469)	74
2.1.6.5. Comportamiento al Fuego del concreto.....	85



2.2. CAUCHO.....	88
2.2.1. El neumático	88
2.2.1.1. Origen	88
2.2.1.2. Definición.....	90
2.2.1.3. Proceso de fabricación.....	91
2.2.1.4. Partes de un neumático.....	94
2.2.2. Caucho natural.....	96
2.2.3. Caucho sintético	104
2.3. RECICLAJE DE NEÚMATICOS	108
2.3.1. Métodos de reciclaje	108
2.3.1.1. Termólisis	108
2.3.1.2. Pirolisis.....	108
2.3.1.3. Incineración.....	109
2.3.1.4. Trituración criogénica	109
2.3.1.5. Trituración mecánica	110
2.3.1.6. Neumáticos convertidos en energía eléctrica	111
2.3.1.7. Plantas de reciclaje.....	111
2.3.1.8. Estudio de viabilidad.....	112
2.3.1.9. Proceso de reciclaje de neumáticos	112
2.3.1.10. Esquema del proceso de reciclaje	114
2.3.2. Aplicaciones del caucho de neumáticos	116
2.4. ETABS V.15, COMPUTERS AND STRUCTURES INC. (CSI)	119
2.4.1. Introducción	119
2.4.2. Modelado de Sistemas Estructurales.....	119
2.4.3. Análisis y diseño	120



2.4.4. Salida, interoperabilidad y versatilidad.....	121
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	124
3.1. PRUEBAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS.....	124
3.1.1. Práctica Estándar para reducción de las Muestras de Agregado al Tamaño de Prueba: (ASTM C-702)	124
3.1.2. Método de Ensayo Estándar para Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado: (ASTM C-566)	128
3.1.3. Método de Ensayo Estándar para Análisis Granulométrico del Agregados Grueso y Fino: (NTP 400.012)	132
3.1.4 Método de Prueba Normal para Resistencia al Desgaste de Agregado Grueso por Abrasión e Impacto en la Máquina de los Ángeles: (ASTM C-131)	142
3.1.5. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado: (NTP 400.017)	145
3.1.6. Método de Ensayo para Determinar la Densidad Relativa (Gravedad Especifica) y Absorción del Agregado Grueso: (NTP 400.021)	153
3.1.6. Método de Ensayo para Determinar la Densidad Relativa (Gravedad Especifica) y Absorción del Agregado Fino: (NTP 400.022)	162
3.2. ESTUDIO DEL CONCRETO CON CAUCHO.....	169
3.2.1. Granulometría del caucho	169
3.2.2. Ensayos Aplicados al Caucho	170
3.2.3. Metodología de Fabricación de las Probetas.....	170



3.2.3.1 Dosificación de los grupos de concretos:.....	171
3.2.3.2 Nomenclatura de las probetas	173
3.3. ELABORACIÓN DEL CONCRETO CON FCR PARA ENSAYOS DE LABORATORIO	174
3.3.1. Proceso de elaboración de la mezcla de concreto	174
3.3.2. Preparación de los moldes	175
3.3.3. Vertido y compactación del concreto	176
3.3.4. Curado inicial del concreto	177
3.3.5. Desmolde e inmersión de la muestra en agua	178
3.4. MÉTODO DE APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR MEDIO DEL ETBAS V.15.....	180
3.4.1. Consideraciones iniciales	180
3.4.2. Creación de materiales y elementos estructurales	182
3.4.3. Creación y asignación de patrones de carga.....	184
3.4.4. Cálculo del Peso Sísmico Efectivo según el RNE E.030	188
3.4.5. Incorporación del Espectro de Diseño	189
3.4.6. Cálculo del Cortante Estático en la Base.....	190
3.4.7. Cálculo del Cortante Dinámico	191
3.4.8. Escalamiento de fuerzas para diseño.....	192
3.4.9. Desplazamientos y Derivas de Piso	193
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	195
4.1. RESULTADOS.....	195
4.2. DISCUSIONES.....	212



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	240
5.1. CONCLUSIONES	240
5.2. RECOMENDACIONES	244
CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA	246
ANEXO N° 01: PRUEBAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS	
ANEXO N° 02: DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO	
ANEXO N° 03: RESULTADOS AL CONCRETO REALIZADOS	
ANEXO N° 04: REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (E-030)	
ANEXO N° 05: RESULTADOS DEL PROGRAMA ETABS V.15	
ANEXO N° 06: PANEL FOTOGRÁFICO	



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1. REQUISITO ESTÁNDAR DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO	
PORTLAND	18
TABLA 2.2. REQUISITO ESTÁNDAR DE LA COMPOSICIÓN FÍSICA DEL CEMENTO	
PORTLAND	19
TABLA 2.3. REQUISITOS DE LOS LÍMITES PERMISIBLES MÁXIMOS DEL AGUA PARA CONCRETO	23
TABLA 2.4. FACTORES DE CORRECCIÓN	41
TABLA 2.5. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO	42
TABLA 2.6. CONSISTENCIA Y ASENTAMIENTO.....	42
TABLA 2.7. ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS PARA VARIOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	43
TABLA 2.8. REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y DE CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES	45
TABLA 2.9. CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLA	46
TABLA 2.10. RELACIÓN AGUA/CEMENTO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.....	48
TABLA 2.11. MÁXIMA RELACIÓN AGUA/CEMENTO PERMISIBLE PARA CONCRETOS SOMETIDA A CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN.	49
TABLA 2.12. VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO	50
TABLA 2.13. TOLERANCIAS DEL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO	60
TABLA 2.14. ESPECIFICACIONES DEL NÚMERO DE CAPAS REQUERIDAS EN LA ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO.	62



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"

TABLA 2. 15 TOLERANCIA DEL TIEMPO PARA REALIZAR EL ENSAYO A RESISTENCIA..	66
TABLA 3.1. TAMAÑO DE MUESTRA PARA AGREGADO GRUESO.....	130
TABLA 3.2. LÍMITES DE GRADUACIÓN DEL AGREGADO FINO.	134
TABLA 3.3. CANTIDAD MÍNIMA DE LA MUESTRA DE AGREGADO GRUESO.....	135
TABLA 3.4. REQUISITO DE GRANULOMETRÍA PARA AGREGADO GRUESO.	136
TABLA 3.5. GRADUACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO	144
TABLA 3.6. CARGA ABRASIVA SEGÚN GRANULOMETRÍA DE ENSAYO	144
TABLA 3.7. CAPACIDAD DEL DEPÓSITO MEDIDOR.....	148
TABLA 3.8. REQUISITOS PARA LOS RECIPIENTES DE MEDIDAS	148
TABLA 3.9. MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO.....	159
TABLA 3.10. DOSIFICACIÓN DE CONCRETO CON FCR	172
TABLA 3.11. NOMENCLATURA DE LAS PROBETAS.....	173
TABLA 3.12. DATOS PARA EL MODELAMIENTO ESTRUCTURAL.....	182
TABLA 3.13. TIPOS DE CARGAS Y VALORES	186
TABLA 4.1. GRANULOMETRÍA FCR-F	195
TABLA 4.2. GRANULOMETRÍA FCR-G.....	196
TABLA 4.3. DENSIDAD DE LAS FIBRAS DE CAUCHO	197
TABLA 4.4. RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONSISTENCIA.....	199
TABLA 4.5. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD, ABSORCIÓN Y POROSIDAD ..	201
TABLA 4.6. RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN	202
TABLA 4.7. PROBETAS ENSAYADAS A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	203
TABLA 4.8. RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA...	205
TABLA 4.9. RESULTADOS DEL ENSAYO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO ...	206
TABLA 4.10. PÉRDIDA DE PESO DE LOS CONCRETOS CON FCR SOMETIDOS A 300 °C.....	209



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"

TABLA 4.11. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS CON FCR A	
300 °C.....	209
TABLA 4.12. PESO DE LA EDIFICACIÓN.....	237



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1. CURVA DE EVOLUCIÓN DEL FRAGUADO DEL CONCRETO.	27
FIGURA 2.2. TIPOS DE SEGREGACIÓN QUE SE PUEDEN PRODUCIR EN EL CONCRETO	31
FIGURA 2.3. CILINDRO DE CONCRETO SOMETIDO A COMPRESIÓN	33
FIGURA 2.4. CONO DE ABRAMS, MATERIAL PARA EL ENSAYO DEL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO.....	57
FIGURA 2.5. VARILLA COMPACTADORA	58
FIGURA 2.6. PROCEDIMIENTO PARA MEDIR EL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO.	60
FIGURA 2.7. MANERA DE CALCULAR EL PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DOS TESTIGOS DE CONCRETO	65
FIGURA 2.8. MANERA DE CALCULAR EL PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TRES TESTIGOS DE CONCRETO.....	65
FIGURA 2.9. CENTRADO ADECUADO DE LA PROBETA EN LA MÁQUINA DE ENSAYO....	68
FIGURA 2.10. MUESTRA DE LA ROTURA CORRECTA E INCORRECTA DEL TESTIGO DE CONCRETO	68
FIGURA 2.11. TIPOS DE FALLA DE ROTURA DEL TESTIGO DE CONCRETO.....	69
FIGURA 2.12. FACTOR DE CORRECCIÓN DEL CONCRETO	69
FIGURA 2.13. MANERA QUE SE ENSAYA A LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL.....	72
FIGURA 2.14. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS DEFORMACIONES DE UN ESPÉCIMEN CILÍNDRICO DE CONCRETO A COMPRESIÓN AXIAL.....	75
FIGURA 2.15. REPRESENTACIÓN GRÁFICA CARACTERÍSTICA DE LA CORRELACIÓN ENTRE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES DEL CONCRETO SOMETIDO A UN PROCESO DE CARGA AXIAL A COMPRESIÓN Y DESCARGA.....	76



FIGURA 2.16. GRÁFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LOS AGREGADOS, PASTA DEL CEMENTO Y CONCRETO.	77
FIGURA 2.17. DECLINACIÓN DE LA CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA DEL CONCRETO EVOLUCIONA EL CRECIMIENTO DE GRIETAS.....	79
FIGURA 2.18. CRITERIO PARA DEFINIR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO A COMPRESIÓN DEL CONCRETO	80
FIGURA 2.19. DIAGRAMA DE UN NEUMÁTICO.	89
FIGURA 2.20. COMPOSICIÓN DE UNA LLANTA DE PASAJEROS.	90
FIGURA 2.21. PARTES DE UN NEUMÁTICO.	96
FIGURA 2.22. PROCESO DE SANGRADO POR EL CUAL SE OBTIENE EL LÁTEX.....	98
FIGURA 2.23. PROCESO DE INDUSTRIALIZACIÓN DEL CAUCHO.....	107
FIGURA 2.24. ETAPAS DEL PROCESO DE TRITURACIÓN CRIOGÉNICA.....	110
FIGURA 2.25. ETAPAS DEL PROCESO DE TRITURACIÓN MECÁNICA.....	111
FIGURA 2.26. ESQUEMA DEL PROCESO DE RECICLAJE	114
FIGURA 2.27. A) CAUCHO GRANULADO COLOR NEGRO. B) CAUCHO GRANULADO DE COLOR VERDE CON RECUBRIMIENTO DE POLIURETANO	115
FIGURA 2.28. MÁQUINA GRANULADORA JAMACH.	115
FIGURA 2.29. MÁQUINA JMACH DE 5 TONELADAS MÉTRICAS POR HORA DE CAPACIDAD DE ENTRADA.	116
FIGURA 2.30. APLICACIÓN DEL CAUCHO EN ASFALTOS	117
FIGURA 2.31. MODELAMIENTO CON EL PROGRAMA ETABS.....	121
FIGURA 2.32. RESULTADOS POR DEFECTO PARA EL DISEÑO	122
FIGURA 3.1 PASOS PARA CUARTEO MANUAL EN SUPERFICIE PLANA	127
FIGURA 3.2. PASOS PARA EL CUARTEO MANUAL SOBRE UNA LONA.	127
FIGURA 3.3. TAMICES CERTIFICADOS DE ABERTURA CUADRADA.....	134



FIGURA 3.4. TAMIZADOR MECÁNICO	139
FIGURA 3.5. MÁQUINA DE ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES.....	143
FIGURA 3.6. RECIPIENTE ESTANDARIZADO PARA LA OBTENCIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO	147
FIGURA 3.7. PICNÓMETRO PARA ARENA Y GRAVA FINA	166
FIGURA 3.8. CONO Y PISÓN PARA DETERMINAR LA ABSORCIÓN DE LA ARENA.....	166
FIGURA 3.9. CONCRETERA PARA LA MEZCLA DE CONCRETO CON FCR.	174
FIGURA 3.10. DISPOSICIÓN DE LOS MOLDES	175
FIGURA 3.11. VERTIDO Y COMPACTACIÓN DEL CONCRETO	177
FIGURA 3.12. PROBETAS CUBIERTAS CON PLÁSTICO IMPERMEABLE.	178
FIGURA 3.13. PROBETAS CONSERVADAS Y SUMERGIDAS EN AGUA.	179
FIGURA 3.14. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL EN PLANTA DEL EDIFICIO.	181
FIGURA 3.15. PATRONES DE CARGA CREADOS, DE ACUERDO A LA DEFINICIÓN.	185
FIGURA 3.16. PATRONES DE CARGA SÍSMICA ESTÁTICO.	185
FIGURA 3.17. DEFINICIÓN DEL PATRÓN DE CARGA SÍSMICA EN LA DIRECCIÓN X... ..	186
FIGURA 3.18. VISTA 3D DE LA EDIFICACIÓN DE 6 NIVELES.	187
FIGURA 3.19. COMANDO PARA EL CÁLCULO DEL PESO SÍSMICO EFECTIVO DEL EDIFICIO.....	188
FIGURA 3.20. ESPECTRO DE DISEÑO.	190
FIGURA 3.21. DEFINICIÓN DE CASO DE CARGA DINÁMICA EN DIRECCIÓN X	192
FIGURA 4.1. GRANULOMETRÍA FCR-F.....	196
FIGURA 4.2. GRANULOMETRÍA FCR-G	197
FIGURA 4.3. ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA EN PORCENTAJES DE FCR-F.....	213
FIGURA 4.4. ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA EN PORCENTAJES DE FCR-G.	213
FIGURA 4.5. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD SECA FCR-F.....	216



FIGURA 4.6. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD SECA FCR-G	216
FIGURA 4.7. RESULTADOS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN FCR-F.....	217
FIGURA 4.8. RESULTADOS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN FCR-G.	218
FIGURA 4.9. RESULTADOS DEL ENSAYO DE POROSIDAD FCR-F.....	219
FIGURA 4.10. RESULTADOS DEL ENSAYO DE POROSIDAD FCR-G.	219
FIGURA 4.11. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	220
FIGURA 4.12. PORCENTAJE DE VARIACIÓN A COMPRESIÓN A 28 DÍAS DE EDAD.	221
FIGURA 4.13. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA A 28 DÍAS DE EDAD.	223
FIGURA 4.14. PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DEL CONCRETO CON FCR.	224
FIGURA 4.15. RESULTADOS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO A 28 DÍAS DE EDAD.	225
FIGURA 4.16. VARIACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO.....	226
FIGURA 4.17. ENSAYO DE TEMPERATURA DEL CONCRETO A 28 DÍAS DE EDAD.....	227
FIGURA 4.18. VARIACIÓN DEL PESO EN % POR ACCIÓN DE LA TEMPERATURA.	227
FIGURA 4.19. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO SOMETIDO A 300 °C A 28 DÍAS DE EDAD.	229
FIGURA 4.20. VARIACIÓN EN % DE LA PÉRDIDA DE F´C SOMETIDO A 300 °C.	229
FIGURA 4.21. DERIVAS INELÁSTICAS-SISMO ESTÁTICO (E.030).	235
FIGURA 4.22. DERIVAS INELÁSTICAS-SISMO DINÁMICO (E.030).....	236
FIGURA 4.23. VARIACIÓN DEL PESO CON RESPECTO AL CP-S/C.....	238



RESUMEN

El siguiente estudio tiene como objetivo desarrollar nuevas mezclas de concreto sustituyendo los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados. Esto con la finalidad de encontrar un uso óptimo al caucho reciclado y así utilizarlas en aplicaciones ingenieriles.

Se realizará una mezcla convencional de concreto, de una resistencia de diseño de 210 kg/cm², según el método ACI-211, además de tres mezclas con la misma resistencia, en donde se sustituirá parcialmente el 5, 15 y 25% de los áridos del agregado grueso y el agregado fino por la fibra de caucho, utilizando dos tamaños de partículas de caucho reciclado que oscile entre 1-4 mm y 10-20 mm. Luego se efectuaran testigos de concreto en forma de cilindros y con ello ejecutar los ensayos pertinentes en base a la Norma Técnica Peruana (NTP) y ASTM. Dichos ensayos son: de consistencia, densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción indirecta, módulo de elasticidad, comportamiento al fuego y microestructura. Todos estos ensayos y mediciones servirán para determinar la calidad de cada mezcla tanto en estado fresco como en estado endurecido.

Además se realizará con los datos obtenidos de cada porcentaje de sustitución de los áridos un análisis estructural de un edificio regular de 6 niveles. Y con ello se evaluará si es viable y/o eficiente el uso del caucho en estructuras de concreto armado.



ABSTRACT

The following study aims to develop new mixes of concrete aggregates replacing fibers from recycled rubber tires. This in order to find optimal use recycled rubber and thus to use in engineering applications.

A conventional concrete mix, a design strength of 210 kg / cm² was performed, according to ACI-211 method, and three mixtures with the same resistance, where it is replaced in part the 5, 15 and 25% of the aggregate of coarse aggregate and fine aggregate for the fiber of rubber in two sizes of particles of recycled rubber ranging from 1-4 mm and 10-20 mm. Witnesses then be made concrete in the form of cylinders and thus run the relevant tests based on the NTP and ASTM. Such assays are: consistency, density, compressive strength, indirect tensile strength, modulus of elasticity, fire behavior and microstructure. All these tests and measurements used to determine the quality of each mixture both fresh and hardened state.

It was also done with the data obtained from each replacement percentage of aggregate, structural analysis of a regular building with 6 levels. And with it will assess whether it is feasible and / or efficient use of rubber reinforced concrete structures.



INTRODUCCIÓN

El consumo de neumáticos en los países desarrollados es elevado y va en aumento. Los propietarios y usuarios de vehículos, por el hecho de circular con los mismos, somos los responsables del desgaste de los neumáticos que acaban quedando fuera de uso y convirtiéndose en residuo, por lo que hay interés por el tema de la eliminación de los neumáticos desechados. En el Perú el uso de los neumáticos reciclados es limitado como materia prima en el rubro de la ingeniería. Por lo que se dictan más directrices para fomentar métodos de reciclado que no sean perjudiciales para el medio ambiente.

De la necesidad de buscar nuevas aplicaciones para este voluminoso residuo, surge la idea de utilizar fibras de caucho en el concreto, sustituyendo parte de los áridos convencionales. Ya que además de eliminar parte de los neumáticos fuera de uso generados, éstos aportasen alguna mejora en las propiedades del concreto.

En el presente trabajo de titulación se presentará el desarrollo y los resultados de ensayos a probetas de concreto con caucho, con el propósito de avanzar en la determinación de todas las propiedades mecánicas de dicho material y que sirvan al calculista en el diseño estructural.



CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES



CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. ASPECTOS INFORMATIVOS

1.1.1. TÍTULO

"SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL EN CHIMBOTE-2015"

1.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

DESCRIPTIVA - EXPERIMENTAL

1.1.3. UBICACIÓN

REGIÓN	:	ANCASH
DEPARTAMENTO	:	ANCASH
PROVINCIA	:	SANTA
DISTRITO	:	CHIMBOTE

1.2. PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. ANTECEDENTES

C. Alabo y N. Camacho (2005) en su proyecto "Influencia de la adición de caucho de reciclaje a compuestos de concreto Pórtland, tipo I: Ensayos destructivos y no destructivos".

Mediante el análisis de la influencia de la adición de la raspadura de las bandas de rodamiento de los neumáticos a los compuestos de concreto, a través de ensayos destructivos y no destructivos. Mediante estudios sobre resistencia a la compresión y a la tracción



realizados a los compuestos a una proporción de 5% en peso, así como con diferentes tamaños de partícula de caucho reciclado (grosso de 19mm, fino < 1,19mm,) a la edad de 28 días, donde se concluye que el descenso en los valores de las propiedades de resistencia a la compresión y resistencia a la tracción de los compuestos con caucho de tamaño fino y grosso, se debe a la porosidad que se origina en las muestras. Por otra parte, el comportamiento del compuesto de concreto con 5% en peso de caucho de tamaño al azar muestra en todas las propiedades analizadas, valores similares a los del concreto tradicional. Esto se debe a que las partículas pequeñas se colocan en los huecos dejados por las partículas grandes de caucho, disminuyendo de esta forma la porosidad.

En resumen, se puede inferir que es factible, de acuerdo a la data analizada, utilizar 5% en peso de caucho de tamaño aleatorio (al azar), ya que no deteriora las características del concreto, además lo vuelve más liviano y al mismo tiempo ayuda a disminuir los efectos negativos que generan los desechos de caucho en el medio ambiente.

Pilar Urra (2006) en su proyecto "Hormigón con caucho: Determinación del Módulo de Elasticidad".

Una de las aplicaciones que se ha propuesto, es su utilización en hormigones con fibras de caucho. Con el propósito de avanzar en la determinación de sus propiedades, se realizaron ensayos a compresión con los cuales se determinó la resistencia a la compresión



y el módulo de elasticidad para mezclas con diferentes dosis de caucho de un 5%, 10%, 15% y 20% respectivamente. Del análisis de las curvas tensión- deformación se pudo observar que el comportamiento del hormigón con caucho frente a cargas de compresión es prácticamente lineal hasta una tensión relativa del orden del 70% de la resistencia máxima. Por encima de este porcentaje las curvas se apartan de la linealidad. La pendiente de la zona lineal de la curva tensión-deformación es el módulo de elasticidad o módulo de Young. Por ello se concluye que, las propiedades mecánicas del hormigón con caucho son bajas (con módulos de elasticidad pequeños). Aunque se llegó a mezclar hasta un 20% en volumen, por eficiencia de trabajabilidad y propiedades mecánicas, se opta por recomendar mezclas de entre 5 % y 10% de trozos de caucho en hormigón.

A. García Cabrera (2007) en su proyecto “Factibilidad de sustitución del agregado fino del concreto por fibras de termoplásticos y elastómeros reciclados”.

El siguiente estudio tuvo como objetivo desarrollar nuevas mezclas de concreto sustituyendo el agregado fino por elastómeros provenientes de bandas de rodamiento de neumáticos, y por fibras de Polipropileno (PP) y Nylon reciclados. Esto con la finalidad de encontrar un uso óptimo a estas mezclas para utilizarlas en aplicaciones ingenieriles. Se realizó una mezcla convencional de concreto, cuatro mezclas en donde se sustituyó el 0,5% y el 1% del agregado fino por la fibra de



polímero termoplástico y cinco mezclas en donde se sustituyó el 1%, 3%, 6%, 12% y 18% del agregado fino por el elastómero. Se hizo una última mezcla ternaria en donde se sustituyó el agregado fino por 1% de la fibra de Nylon y 6% de caucho. Luego se hicieron probetas en forma de cilindros y losas. Posteriormente, se realizaron pruebas de trabajabilidad, ensayos mecánicos de compresión, flexión y flexión en estado envejecido, haciendo uso de una prensa hidráulica siguiendo el procedimiento de las Normas Venezolanas Covenin 338 y 343, utilizadas para ensayar probetas cilíndricas y losas de concreto. Todos estos ensayos y mediciones sirvieron para determinar la calidad de cada mezcla tanto en estado fresco como en estado endurecido. En definitiva se concluye que es totalmente factible hacer una mezcla ternaria concreto/ nylon/caucho, sustituyendo parte del agregado fino (arena) por estos materiales reciclados, ya que los resultados obtenidos muestran que se pueden lograr mantener y mejorar algunas propiedades de las mezclas de concreto convencionales. Aparte de las mejoras mecánicas también se logran combinar la gran disponibilidad que se tiene actualmente de estos materiales reciclados y el bajo costo, todas ellas cualidades necesarias para realizar nuevas aplicaciones.

M. Bizinotto y J. Riba (2009) “Realización de ensayos de laboratorio de hormigón con caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU”).



El objetivo de este estudio experimental es determinar la influencia de la incorporación de diferentes porcentajes de partículas de caucho (5, 10 y 15% del volumen de los áridos convencionales) en las propiedades físicas y mecánicas del hormigón. Para ello, se elaboraron diferentes hormigones utilizando dos tamaños de partículas de NFU: 1-4 mm (NFU-F) y 10-16 mm (NFU-G). De los ensayos realizados se infiere que la resistencia a tracción del hormigón no se altera por la incorporación de NFU, incluso aumenta en los hormigones con 5% de NFU. El módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión disminuye a medida que aumenta el contenido de NFU. Y después de hacer el balance de los resultados obtenidos se concluyó que el empleo de hormigones con NFU es desaconsejable en elementos estructurales sometidos a sollicitaciones de compresión. Sin embargo, podría utilizarse en pavimentos, ya que la incorporación de caucho le proporciona al hormigón ciertas propiedades elásticas, permitiendo su deformación en presencia de esfuerzos por debajo de la resistencia a compresión del hormigón.

Sara Sgobba y C. Giuseppe (2010) con el proyecto “El uso de goma de partículas de neumáticos reciclados como agregados de hormigón para aplicaciones de ingeniería”

Este estudio explora los efectos de mejora de partículas de caucho en algunas propiedades del hormigón. Los restos de goma utilizados se obtuvieron a partir de un proceso de trituración mecánica de los



neumáticos con los puestos de usados en vehículos de motor y camiones. El concreto con caucho proporciona un producto final con buenas propiedades mecánicas y también representa una forma eficaz y efectiva de reciclado de los neumáticos desechados. El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de la investigación experimental realizados para identificar los tipos y cantidades óptimas de agregados en las mezclas de concreto para aplicaciones de ingeniería. Algunos de los ensayos realizados incluyen: densidad de los agregados de goma, manejabilidad, la oclusión de aire fuerza y compresión. Se usaron tres tipos de partículas de caucho (goma de ceniza, caucho de la miga) se han utilizado en las mezclas de hormigón de goma sustitución parcial de los agregados. Los resultados presentados en este trabajo muestran que la incorporación en el hormigón de agregados de caucho, obtenidos a partir de neumáticos de desecho, es una solución adecuada para reducir el peso en el concreto. A pesar de algunos inconvenientes, como la disminución de algunas propiedades mecánicas del concreto y el aumento de la demanda de agua y el contenido de aire, las pruebas demostraron que la mezcla de hormigón con caucho adicionado posee propiedades interesantes que pueden ser útiles en el desempeño de la estructura de hormigón. El sistema estructural y no estructural del hormigón se ve afectada significativamente por el tipo y el contenido de la partícula de caucho, así como por tipo de cemento y las propiedades de mezcla. Se puede concluir que mezclar 07%-PR con partículas de neumáticos para camiones y mezclar 010%-PR con



la goma del coche, satisface las calificaciones requeridas de tener un peso específico bajo ($<2.100 \text{ Kg} / \text{m}^3$) y aceptable resistencia a la compresión para posibles aplicaciones estructurales. Al mezclar 08%-PR con partículas de neumáticos para camiones y 012%-PR con caucho de neumáticos de automóviles muestran baja densidad (incluso $<1,000 \text{ kg} / \text{m}^3$). Se necesita una amplia investigación para investigar la durabilidad, la tenacidad y el impacto de la resistencia de la mezcla.

Ameer Abdulraluman (2011) con su proyecto “Efecto de las cenizas volantes y residuos de goma en propiedades del compuesto de hormigón”

El presente trabajo analiza la influencia de las partículas de caucho de cenizas y de llantas de desecho en el comportamiento del compuesto del concreto. El contenido de caucho se ha tomado en el intervalo de 0 a 40% como el reemplazo de los agregados finos y gruesos mientras el volante se ha variado de 0 a 30% para el cemento. Prueba de la muestra de hormigón preparado bajo diferentes porcentajes de cenizas y caucho de desecho se realizó a los 28 días de edad para facilitar la aplicación, se realizaron ensayos de densidad, la compresión y la resistencia de la unión. Los resultados experimentales muestran que la densidad, la compresión, la fuerza y la unión fuerza disminuye, mientras que aumenta la capacidad de trabajo al aumentar el contenido de goma. La trabajabilidad del caucho aumenta con el aumento de los contenidos de goma y la



trabajabilidad máxima se obtuvo a 30% de cenizas volantes y 40% de contenido de goma. La densidad del hormigón recubierto de goma disminuye al aumentar el contenido de goma (de 0-40% de agregado). Resistencia a la compresión disminuye en 96,5%, 96,4%, 96,3% y 96,2% a 0%, 10%, 20%, 30% y 40% de contenido de caucho, respectivamente, en 0-30% de cenizas volantes. La tenacidad del hormigón modificado con caucho de desecho era mucho mayor que la mezcla de control. Debido a la naturaleza elástica de caucho, goma de hormigón es capaz de absorber más energía cuando está cargado. Después de cargar las muestras, las grietas se inician por primera vez en las áreas más suaves de la especímenes. A mayores contenidos de caucho (30-40%), el número de grietas y la anchura de la grietas aumenta lo que conduce al colapso del cubo muestra. La resistencia a la compresión fue en 30% de cenizas volantes y 40% de sustitución de goma. Además, la estructura de hormigón recubierto de goma puede sostener la carga suficiente, incluso después de la generación de grietas.

1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el caucho de neumáticos reciclados se le ha dado diferentes usos en la rama de la construcción, como formar parte del material en la elaboración de grasas artificiales, en pavimentación, además como protección en los parques, etc. Pero en el caso de un enfoque estructural aun no es investigado ni aplicado en el Perú.



Por ello es innovador realizar una investigación de las propiedades del caucho y la adición del mismo en la mezcla de concreto, además verificar si la nueva mezcla es beneficiosa para una estructura de concreto armado siguiendo los parámetros sismo-resistentes que estipula la Norma Técnica Peruana y el Reglamento Nacional de Edificaciones.

Y con ello lograremos obtener un nuevo material de construcción para la elaboración de concreto.

Formulación del problema:

¿La sustitución parcial de los áridos por las fibras de caucho de neumáticos reciclados contribuirá en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del concreto?

1.2.3. OBJETIVOS

1.2.3.1. OBJETIVOS GENERALES

- Estudiar el comportamiento físico y mecánico de las mezclas de concreto sustituyendo parcialmente los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural.

1.2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar los ensayos, según las normas NTP (Norma Técnica Peruana) y ASTM, a los áridos de concreto para obtener la dosificación de la mezcla patrón.



- Elaborar la mezcla patrón de concreto con una resistencia de diseño a la compresión de 210 kg/cm², según el método ACI 211.
- Elaborar testigos de concreto de la mezcla patrón y de concreto sustituido parcialmente sus áridos por fibras de caucho en un 5%, 15% y 25% con relación de a/c constante.
- Ejecutar los ensayos necesarios como: consistencia, densidad, absorción, porosidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción indirecta, módulo de elasticidad estático, comportamiento al fuego y microestructura.
- Analizar una estructura de 6 niveles para la Ciudad de Chimbo, comparando el comportamiento estructural en función a los diferentes porcentajes de áridos sustituidos por fibras de caucho reciclado por medio del programa computarizado Etabs v.15.

1.2.4. HIPÓTESIS

La sustitución parcial de los áridos al 5, 15 y 25% por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural mejorará las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

1.2.5. VARIABLES

1.2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Fibras de caucho de neumáticos
- Agregado grueso y fino.



1.2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Resistencia a la compresión del concreto.
- Resistencia a tracción diametral, módulo de elasticidad estático
- Absorción, densidad y porosidad del concreto.

1.2.5.3. VARIABLE INTERVINIENTE

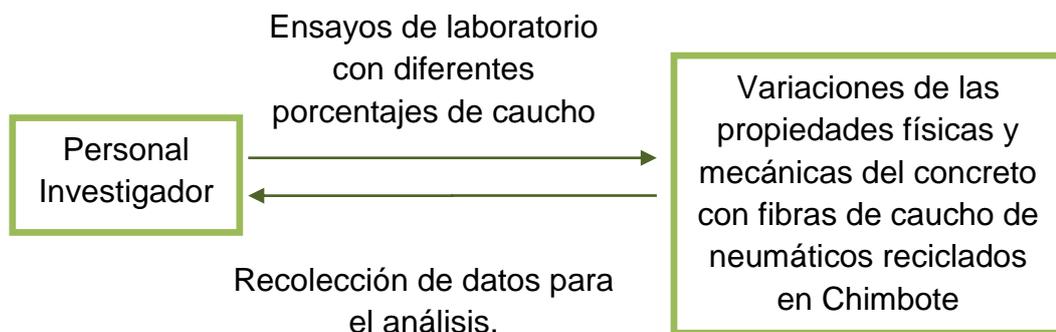
- Temperatura del concreto con caucho de fibras de neumáticos reciclado.
- Propiedades físicas, mecánicas y químicas del neumático fuera de uso.

1.2.6. TIPO DE DISEÑO

DESCRIPTIVO – EXPERIMENTAL

SUJETO

OBJETO



1.2.7. ESTRATEGIA DE TRABAJO

1.2.7.1. MÉTODO DE ESTUDIO

- Recopilación y análisis de información sobre estudios relacionados.



- Recopilación de datos del caucho de neumático reciclado.
- Toma de datos de los ensayos realizados al concreto fresco y endurecido.

1.2.7.2. POBLACIÓN

- Llantas en desuso de los vehículos del parque automotor de Chimboté y los agregados de las canteras.

1.2.7.3. MUESTRA

- Se tomará como muestra las llantas fuera de uso de los vehículos livianos y pesados de las vulcanizadoras de Chimboté y los áridos de las canteras de la provincia del Santa.

1.2.8. JUSTIFICACIÓN

El principal problema que existe en el uso de los agregados como material de construcción para la elaboración de concreto es la dependencia de éstos, que son explotadas en las canteras de la provincia del Santa. Por tal motivo que al resultar la sustitución parcial de los áridos de concreto por fibras de caucho de neumáticos reciclados, se mejoraría las propiedades físicas y mecánicas del concreto proponiendo así un nuevo material de construcción para la elaboración de concreto estructural.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. CONCRETO

2.1.1. Generalidades

Hoy en día, el concreto es uno de los materiales de construcción básico. Es la agrupación o concreción (de ahí su denominación anglosajona concrete) de un aglomerante (en este caso el cemento), áridos pétreos (la piedra y la arena) y agua, que mezclados en la proporción adecuada nos entregan un producto homogéneo, de docilidad controlada, convirtiéndolo en un material moldeable, y lo que es más importante, de excelentes propiedades mecánicas, siendo su principal virtud, presentar una elevada resistencia a la compresión, aunque baja a la tracción.

En su preparación hay una fase plástica, que va desde el mezclado hasta el fraguado, teniendo por ello la propiedad de ser formáceo: de poderse colar en una cimbra de la forma deseada (en nuestro idioma, hormigón, se deriva de formicus-formáceo).

2.1.2. Elementos que conforman el concreto

Cemento

Definición (NTP 334.001)

Un cemento hidráulico producido mediante la calcinación de una caliza arcillosa a una temperatura de bajo del punto de sinterización y luego molido hasta polvo fino.



Cemento Portland Tipo I

Definición de cemento Portland (NTP 334.009 2013)

Cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente sulfato de calcio y eventualmente caliza como adición durante la molienda.

Requisito de cemento Portland Tipo I (NTP 334.009)

Para uso general que no requiera propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.

Características del cemento Portland tipo I (Pacasmayo)

El Cemento Portland Tipo I (Pacasmayo) cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C-150.



Tabla 2.1. Requisito estándar de la composición química del cemento Portland

	Espec.	De ensayos
SiO ₂ (%)	^	20.6
Al ₂ O ₃ (%)	6.0 máx.	4.4
Fe ₂ O ₃ (%)	6.0 máx.	3.3
CaO (%)	^	62.9
MgO (%)	6.0 máx.	2.2
SO ₃ (%)	3.0 máx.	2.7
Pérdida por ignición (%)	3.0 máx.	2.7
Na ₂ O (%)	^	0.19
K ₂ O (%)	^	0.50
Residuo insoluble (%)	0.75 máx.	0.27
CO ₂ (%)	^	1.5
Caliza (%)	5.0 máx.	3.5
CaCO ₃ en caliza (%)	70 mín	98
Potencial (%)		
C ₁ S	^	50
C ₂ S	^	21
C ₃ S	8 máx	6
C ₂ AF	^	10
C ₂ AF + 2(C ₃ A)	^	22
C ₃ S + 4.75C ₃ A	100 máx	78.5

^ No aplicable.

^B Promedio de las últimas cinco muestras consecutivas.

^C Los resultados de ensayo representan los valores más recientes y son suministrados solamente para información.

Fuente: Especificación Normalizada para cemento Portland, designación ASTM C 150 -07.



**Tabla 2.2. Requisito estándar de la composición física del cemento
Portland**

Item	Límite Espec.	Resultados de ensayos
Contenido de aire mortero (volumen %)	12 máx.	8
Fineza Blaine (m ² /kg)	260 mín	377
Fineza Blaine promedio ^B (m ² /kg)	430 máx 280 mín.	385
Expansión en autoclave (%)	420 máx 0.80 máx.	0.04
Resistencia a la compresión (MPa)	mín.	
1 día	^	
3 días	7.0	23.4
7 días	12.0	29.8
28 días	^	
Tiempo de fraguado (minutos) (vicat)		
Inicial no menor que	45	124
No mayor que	375	
Calor de hidratación (KJ/Kg)		
7 días	c	300

^ No aplicable.

B Promedio de las últimas cinco muestras consecutivas.

C Los resultados de ensayo representan los valores más recientes y son suministrados solamente para información.

Fuente: Especificación Normalizada para cemento Portland, designación ASTM C 150 -07.



❖ **Agregados**

Definición

Material mixto de piedra, arena y finos, que se encuentra generalmente en los conos de deyección de los ríos y se utiliza en algunos casos en hormigones (concretos) no estructurales. (NTP 339.047 2006).

➤ **Agregado fino**

Definición

Es el agregado artificial de rocas o piedras provenientes de la desagregación natural o artificial, que pasa en el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037 o ASTM C 33. (NTP 339.047 2006).

Requisito

El agregado fino podrá consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duras compactas y resistentes.

El agregado fino debe ser libre de cantidades perjudiciales del polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas. (NTP 400.037 o ASTM C 33).



➤ **Agregado grueso**

Definición.

Es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (No 04) que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037 o ASTM C33, proveniente de la desagregación natural o artificial de la roca. (NTP 339.047 2006). El agregado grueso puede consistir de grava natural o triturada, piedra partida, o agregados metálicos naturales o artificiales. El agregado grueso debe estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular o semiangular, duras, compactas, resistentes y de textura preferentemente rugosa. Las partículas deben ser químicamente estables y estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

➤ **Agua**

Consideraciones Generales

En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas.

Aunque en estas aplicaciones, las características del agua tienen efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear agua de una sola calidad en ambos casos. Así normalmente, en las especificaciones para concreto se hace referencia en primer término a los requisitos que debe cumplir el agua para elaborar el concreto, porque sus efectos son más importantes, y



después se indica que el agua que se utiliza para curarlo debe ser del mismo origen, o similar, para evitar que se subestime esta segunda aplicación.

Como componentes del concreto convencional, el agua suele representar entre 10 y 25 por ciento del volumen del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo del agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera. Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aún en proporciones reducidas, puede tener efectos adversos significativos en el concreto.

Los requisitos de calidad del agua de mezclado para concreto no tienen ninguna relación obligada con el aspecto bacteriológico (como es el caso de las aguas potables), sino que básicamente se refieren a sus características físico – químicas y a sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto.

Los efectos indeseables que el agua de mezclado de calidad inadecuada pueda producir en el concreto a corto plazo, normalmente se relacionan con el tiempo de fraguado y las resistencias iniciales, los de mediano plazo con las resistencias posteriores (28 ó más días) y los de largo plazo pueden consistir en el ataque de sulfatos, la reacción álcali – agregado y la corrosión del acero de refuerzo.



Requisitos y Normas.

▪ De calidad :

El agua empleada en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de la norma N.T.P. 339.088 y ser de preferencia, potable. Se considerará apta para el mezclado del concreto el agua cuyas propiedades y contenido en sustancias disueltas están comprendidas dentro de los límites siguientes (véase en la Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Requisitos de los límites permisibles máximos del agua para concreto

Descripción	Límite permisible
<i>Sólidos en suspensión</i>	<i>5000 p.p.m. máximo</i>
<i>Materia orgánica</i>	<i>3 p.p.m. máximo</i>
<i>Alcalinidad (NaHCO_3)</i>	<i>1000 p.p.m. máximo</i>
<i>Sulfato (Ión SO_4)</i>	<i>600 p.p.m. máximo</i>
<i>Cloruros (Ión Cl)</i>	<i>1000 p.p.m. máximo</i>
<i>pH</i>	<i>5 a 8</i>

Fuente: NTP.339.088

▪ Del comité 318 DEL ACI.

La publicación 318.99 del American Concrete Institute, relacionado a “Building Code Requirements for Structural Concrete”, en el acápite 3.4, fija cuatro requisitos para el agua de mezclado:

– El agua empleada en el mezclado del concreto deberá estar limpia y libre de cantidades peligrosas de aceites, álcalis, ácidos, sales,



materia orgánica u otras sustancias peligrosas para el concreto o el refuerzo.

-El agua de mezclado para concreto premezclado o para concreto que deberá contener elementos de aluminio embebidos, incluida la porción del agua de mezclado que es contribuida en forma de agua libre sobre el agregado, no deberá contener cantidades peligrosas de ion cloruro.

-No deberán emplearse en la concreta agua no potable, salvo que las siguientes condiciones sean satisfechas.

-La selección de las proporciones del concreto deberá basarse en mezclas de concreto en las que se ha empleado agua de la misma fuente.

-Los cubos de ensayo de morteros preparados con aguas de mezclado no potables deberán tener a los 7 y 28 días resistencias iguales a por lo menos el 90% de la resistencia de especímenes similares preparados con agua potable. Los ensayos de comparación de resistencia deberán ser preparados con morteros, idénticos con excepción del agua de mezclado, preparados y ensayados de acuerdo con la Norma ASTM C 109.

Determinación de la relación agua / cemento.

La relación agua/cemento (a/c) es un valor numérico que indica la cantidad de agua que debe ser agregada con respecto a la proporción de cemento adicionado a una mezcla de concreto, y se establece por las especificaciones del proyecto definido. Una alternativa que se



encuentra en algunas especificaciones es la referencia de la ACI Standard 211.1. En ésta, se considera principalmente la relación agua/cemento desde el punto de vista de la durabilidad, en varias condiciones de exposición. Además, de esta norma, el ACI Building Code Requirements for Reinforced Concrete (Requisitos del código de construcción del ACI para el concreto reforzado), ACI 318-89, expresa que la relación agua/cemento en ningún caso será menor que 0,45. A parte de establecer las relaciones a/c para las condiciones de exposición, el otro criterio principal utilizado es la resistencia a la compresión a 28 días de curado.

Evolución de los Cambios de Estado del Concreto

El concreto hidráulico convencional, recién elaborado, es un material que en pocas horas se transforma y cambia de estado, desde su condición inicial de masa blanda e informe hasta la de cuerpo rígido que toma la forma del molde en que se coloca, y después continúa evolucionando para adquirir con el tiempo sus propiedades definitivas como cuerpo duro y resistente.

Al concreto recién mezclado se le considera en estado fresco, mientras conserva suficiente blandura para ser moldeado, en tanto que al concreto ya colocado, se le considera como un material en curso de endurecimiento progresivo. Para dar el uso y tratamiento adecuados al concreto en ambos estados, es necesario reconocer sus respectivas características y propiedades, y los factores que las modifican, a fin de poder ajustarlas según convenga.



El proceso de solidificación y endurecimiento del concreto es el resultado de las reacciones químicas que se producen entre el cemento y el agua, reacciones que de manera global y de principio a fin corresponden al proceso de hidratación del cemento, el cual para fines prácticos se considera dividido en dos etapas, la del fraguado y la del endurecimiento propiamente dicho.

La etapa del fraguado, que normalmente dura pocas horas, corresponde al cambio de estado en que el concreto deja de ser un material blando para convertirse en un cuerpo rígido pero frágil, es decir, el concreto recién fraguado es un material solidificado que prácticamente no posee resistencia mecánica. Se considera que la etapa del verdadero endurecimiento, o de adquisición de resistencia mecánica, se inicia cuando termina el fraguado y se prolonga durante un lapso que dura meses, e incluso años.

En la fig. 2.1 se muestra la curva de evolución del fraguado, que nos ilustra la forma en que se tipifica arbitrariamente cada etapa del proceso de cambio en la mezcla de concreto.

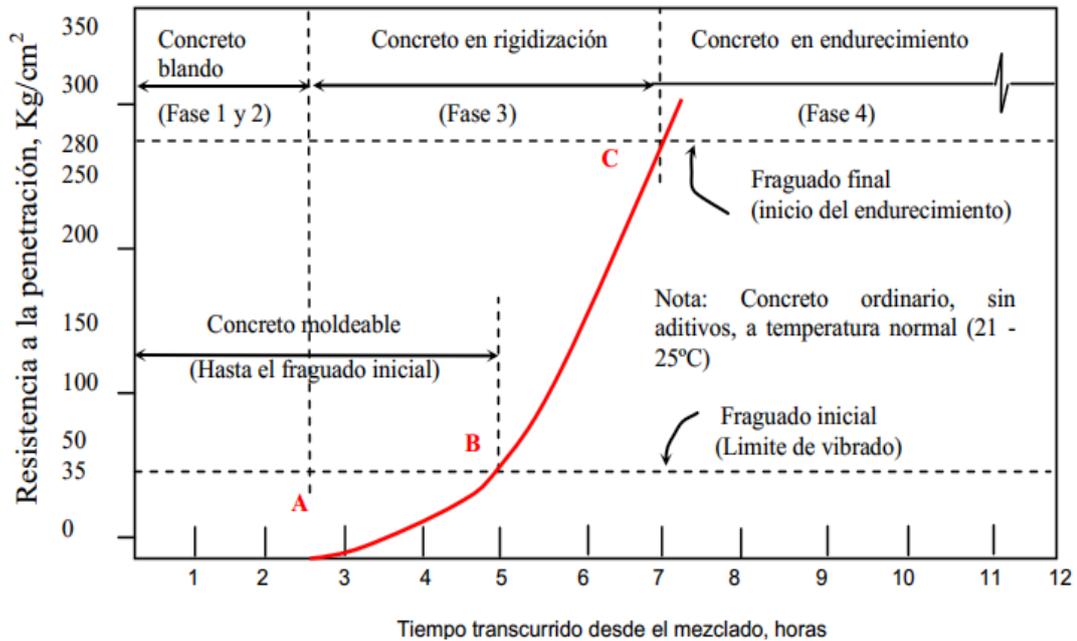


Figura 2.1. Curva de evolución del fraguado del concreto.

Fuente: Manual de Tecnología del concreto sección IV (CFE)

En esta figura se marcan tres puntos sobre la curva de evolución del fraguado. El punto A define el tiempo a partir del mezclado en que el concreto comienza a oponer resistencia a la penetración, es decir, empieza a adquirir rigidez.

El punto B corresponde al tiempo en que el concreto alcanza una resistencia a la penetración igual a 35 kg/cm² (500 lb/pulg²), valor representativo de rigidez que por definición (ASTM C 403) se designa como "fraguado inicial". Finalmente, el punto C marca el tiempo en que el concreto manifiesta una resistencia a la penetración igual a 280 kg/cm² (4000 lb/pulg²), que a su vez representa un estado de rigidez identificado como "fraguado final".



De acuerdo con lo anterior, puede considerarse que el estado fresco del concreto persiste hasta que se produce el fraguado inicial, y que el lapso previo a éste, es el tiempo máximo de que se dispone para realizar todas las operaciones correspondientes al mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto en los moldes. Es por tanto necesario, al referirse al concreto fresco, examinar los cambios de comportamiento que manifiesta en ese lapso y los efectos que dichos cambios pueden tener en la realización de esas operaciones.

2.1.3. Propiedades del concreto

Para poder definir las propiedades del concreto es conveniente separarlo en dos estados en que se presenta la masa que lo forma

➤ **Concreto fresco**

En este estado se identifican cuatro propiedades inherentes al concreto, las que se presentan a continuación:

▪ **Consistencia :**

Es la habilidad relativa para fluir que tiene el concreto fresco, es decir, es el comportamiento de la masa en diferentes condiciones de humedad. Cuando la masa es muy fluida, se dice que tiene una “consistencia aguada”; cuando es de fluidez media, se le conoce como “consistencia plástica” y, cuando es poco fluida (rígida), tiene una “consistencia seca”.



▪ **Plasticidad :**

Es la propiedad, por la cual, la masa se puede deformar, tomando las geometrías más caprichosas, sin perder su calidad original.

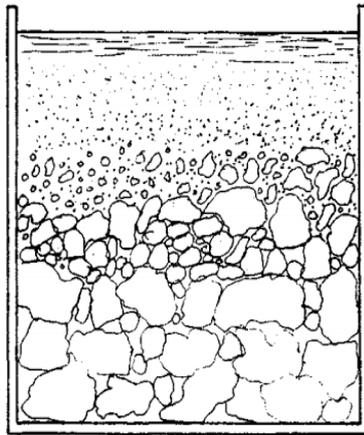
▪ **Fraguado :**

Debido a las pérdidas del agua libre de la mezcla principalmente por la aidez de agua del cemento, en sus primeras reacciones y ayudada en mayor o menor grado por la evaporación y por el desecamiento, la masa pierde gradualmente su fluidez y su plasticidad, transformándose en una masa rígida y resistente a la penetración, el fraguado del concreto, medido como la resistencia a la penetración, se divide en dos etapas, arbitrariamente definidas como "fraguado inicial" y "fraguado final". Algunos cementos pueden presentar un "fraguado falso" (ASTM C 451). Se produce en un tiempo entre 1 y 5 minutos, comprobándose su aparición por la considerable perdida de plasticidad sin que se desarrolle calor de hidratación en gran abundancia poco tiempo después del mezclado, pudiéndose eliminar fácilmente con un remezclado. Los tiempos del fraguado inicial y del final, son del orden de horas y dependen del tipo de cemento y aditivos que se estén empleando.

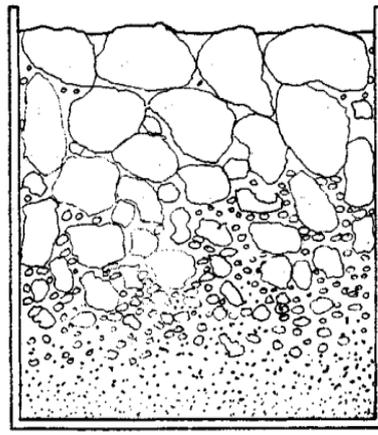


▪ **Manejabilidad:**

Es la facilidad que ofrece la masa de concreto para mezclarse, colocarse y acabarse. Esta propiedad es la más importante del concreto fresco, desde el punto de vista práctico, porque además de reunir a todas las propiedades anteriores, es la que físicamente se aprovecha en las aplicaciones del concreto. Es muy importante advertir que durante las operaciones de mezclado, transportación, colocación y acabados, el concreto está sujeto a dos fenómenos nocivos; a saber: debido a una dosificación deficiente de los ingredientes o al descuido de las operaciones a las que se somete el concreto, los ingredientes se pueden separar en tamaños o en pesos específicos perdiéndose la uniformidad y la calidad del concreto, a este fenómeno se le conoce como “segregación” (Fig. 2.2) y, poco después de la colocación y durante los acabados, se puede presentar el “sangrado”, que consiste en una forma de segregación del agua, en la que tiende a subir a la superficie de la masa debido al fenómeno de capilaridad y a la incapacidad de retención de los sólidos; gran parte de esta agua, logra llegar a la superficie y otra parte queda atrapada pero segregada debajo de los agregados gruesos.



Segregación Normal: Los agregados de mayor tamaño o peso específico se separan y se depositan en el fondo.



Segregación Inversa: Los agregados de mayor tamaño o peso específico se separan y ascienden hacia la superficie.

Figura 2.2. Tipos de segregación que se pueden producir en el concreto

Fuente: Tecnología del concreto/Sánchez Guzmán.

Este fenómeno, produce un concreto muy poroso, con una falta parcial del contacto directo de los agregados con la pasta y con una cantidad de agua mayor en la superficie de concreto, que causaría problemas futuros en el comportamiento del concreto.

Por lo tanto, se puede decir que un concreto fresco es manejable, cuando ofrece la facilidad necesaria para ser procesado, moldeado y acabado, en condiciones específicas, sin presentar segregación, ni sangrado.

➤ Concreto endurecido

Son seis las propiedades del concreto en su estado endurecido:

- a) Impermeabilidad.
- b) Durabilidad



- c) Resistencias mecánicas: compresión, tensión, flexión, cortante, fatiga, impacto, abrasión, cavitación.
- d) Cambios volumétricos: Contracción, expansión, deformación elástica, deformación plástica.
- e) Resistencia al fuego y radioactividad.
- f) Propiedades térmicas, acústicas y eléctricas.

De todas estas propiedades, las que más interesan a este trabajo, debido a su participación medular en las áreas de concreto estructural, son las que se apuntan a continuación: resistencias a la compresión, tensión, abrasión, resistencia al fuego, cambios volumétricos: su deformación elástica y su consistencia en agregado a éstas el peso unitario del concreto.

▪ **Resistencia a la compresión :**

Se puede definir como la máxima resistencia medida en un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2) a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo $f'c$. Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas sobre especímenes de mortero o de concreto; a menos que se especifique de otra manera, los ensayos a compresión de mortero se realizan sobre cubos de 5 cm, en tanto que los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que miden 15 cm de diámetro y 30 cm de altura (Fig. 2.3).

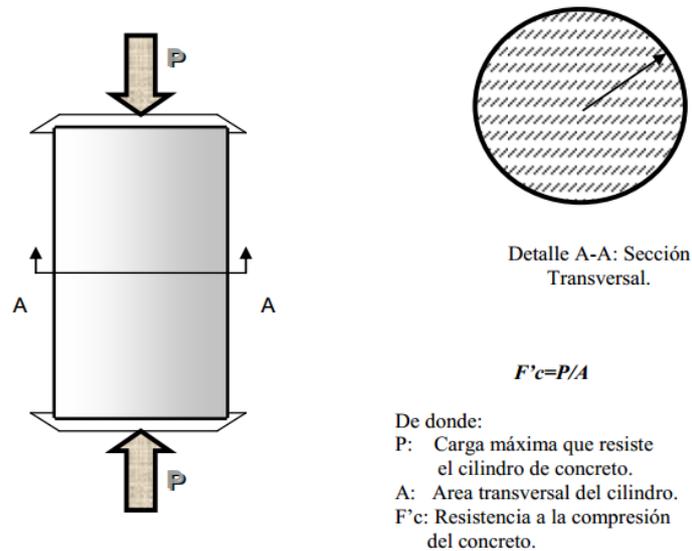


Figura 2.3. Cilindro de concreto sometido a compresión

Fuente: Fabricación de concreto (Ingenieros civiles Asociados)

▪ **Resistencia a la flexión :**

Se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como un índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamada Módulo de Ruptura, para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 3.18 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

▪ **Resistencia al desgaste :**

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas están sujetos al desgaste; por tanto, en estas aplicaciones el concreto debe tener una resistencia elevada a la abrasión. Los resultados de pruebas indican que la resistencia a la abrasión o desgaste está estrechamente



relacionada con la resistencia a compresión del concreto. Un concreto de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un concreto de resistencia a compresión baja. Como la resistencia a la compresión depende de la relación agua-cemento y del curado, una relación agua-cemento baja, así como un curado adecuado son necesarios para obtener una buena resistencia al desgaste. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento utilizado también tienen fuerte influencia en la resistencia al desgaste. Un agregado duro es más resistente a la abrasión que un agregado blando o esponjoso, y una superficie que ha sido tratada con llana de metal resiste más el desgaste que una que no lo ha sido.

▪ ***Estabilidad Volumétrica***

El concreto endurecido presenta ligeros cambios de volumen debido a variaciones en la temperatura, en la humedad y en los esfuerzos aplicados. Estos cambios de volumen o de longitud pueden variar desde aproximadamente 0.01% hasta 0.08%. El concreto que se mantiene continuamente húmedo se dilatará ligeramente. Cuando se permite que seque, el concreto se contrae. El principal factor que influye en la magnitud de la contracción por secado, es el contenido de agua del concreto recién mezclado. La contracción por secado, aumenta directamente con los incrementos de este contenido de agua. La magnitud de la contracción también depende de otros factores, como las cantidades de agregado empleado, las propiedades del agregado, tamaño y forma de la masa de concreto, temperatura y humedad relativa del medio ambiente, método de



curado, grado de hidratación, y tiempo. El contenido de cemento tiene un efecto mínimo o nulo sobre la contracción por secado para contenidos de cemento entre 280 y 450 kg/m³. Cuando el concreto se somete a esfuerzos, se deforma elásticamente; los esfuerzos sostenidos resultan en una deformación adicional llamada fluencia. La velocidad de la fluencia (deformación por unidad de tiempo) disminuye con el tiempo.

▪ **Peso unitario :**

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2,240 a 2,400 kg/m³. El peso unitario (densidad) del concreto varía, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. En la Tabla 2.6 se dan valores del peso unitario del concreto fresco. El peso del concreto seco iguala al peso del concreto recién mezclado menos el peso del agua evaporable. Una parte del agua de mezclado se combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando al cemento en gel de cemento. También un poco de agua permanece retenida herméticamente en poros capilares y no se evapora bajo condiciones normales. La cantidad de agua que se evaporará al aire a una humedad relativa del 50% es aproximadamente de 2% a 3% del peso del concreto, dependiendo



del contenido inicial de agua del concreto, de las características de absorción de los agregados, y del tamaño de la estructura.

2.1.4. Diseño de Mezcla del Concreto

Definición

El diseño de mezclas de concreto es un proceso que consiste en la selección de ingredientes disponibles (cemento, agregados, agua y aditivos) y la determinación de sus cantidades relativas para producir concreto con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiere las propiedades de resistencia, durabilidad, peso unitario, estabilidad de volumen y apariencia.

Diseño de mezcla de concreto de Peso Normal

Generalidades

El conocimiento de las propiedades del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido tiene como finalidad primordial la de determinar el diseño de la mezcla. Para el proporcionamiento de los ingredientes de una mezcla de concreto, se han sugerido muchos métodos dentro los cuales se cuentan: los analíticos, semi analíticos y empíricos. Estos métodos han evolucionado desde los volumétricos arbitrarios (por ejemplo mezclas 1:2:4), al método de peso y volumen absoluto actual, propuesto por el Instituto Americano del Concreto, elaborado por el Comité ACI 211, siendo el más conocido y ampliamente usado.

El anterior se fundamenta en el principio básico de la relación agua/cemento desarrollado por Abrams; consiste en seguir en forma



ordenada una secuencia de pasos, para determinar la cantidad de cada material en peso y volumen para 1m³ de concreto.

Sin embargo, el método ACI ha sido concebido de tal manera que el proporcionamiento de los agregados se hace teniendo en cuenta que estos cumplen con las recomendaciones granulométricas de la norma ASTM C 33. El objetivo que se persigue en el diseño de mezclas de concreto, es determinar la combinación más práctica y económica de materiales disponibles, para producir un concreto que satisfaga sus requerimientos bajo condiciones particulares de uso. Una mezcla se debe diseñar tanto para estado fresco como para estado endurecido. Las principales exigencias que se deben cumplir para lograr una dosificación apropiada en estado fresco son las de manejabilidad y economía, y para el concreto endurecido son las de resistencia, durabilidad, acabado y en algunos casos el peso volumétrico. Por lo común, las propiedades del concreto fresco se rigen por el tipo de estructura a seguir (losas, vigas, muros, zapatas, etc.) y por las técnicas de colocación y transporte (bomba, banda transportadora, carretilla, etc.); así mismo, las propiedades del concreto en estado endurecido quedan especificadas por el ingeniero calculista ya que él proporciona datos tales como la resistencia a los esfuerzos, durabilidad y otros, para que respondan a las condiciones de los proyectos o de los reglamentos.

Con estos dos grupos de requisitos y teniendo en cuenta además el grado de control que se ejerce sobre la obra, se puede determinar las



proporciones de la mezcla. El costo de la elaboración de una mezcla de concreto, está constituida básicamente por el costo de los materiales, equipo y mano de obra. La variación en el costo de los materiales se debe a que el precio del cemento, es mayor que el de los agregados, y de allí, que el proporcionamiento debe minimizar la cantidad de cemento sin sacrificar la resistencia y demás propiedades del concreto. La diferencia en costo entre los agregados generalmente es secundaria; sin embargo, en algunas localidades o con algún tipo de agregado especial pueden ser suficientes para que influya en la selección y dosificación.

El costo del agua usualmente no tiene ninguna influencia, mientras que el de los aditivos puede ser importante por su efecto potencial en la dosificación del cemento y los agregados. El costo de la mano de obra depende de la trabajabilidad de la mezcla y de los métodos de colocación y compactación. Una mezcla poco trabajable con un equipo de compactación deficiente, aumenta los costos de mano de obra y aún, con un equipo de colocación eficiente (por ejemplo en la construcción de pavimentos) el costo de colocación de mezclas muy secas es alto.

➤ **Pasos para diseñar una mezcla de concreto**

a. Recaudar el siguiente conjunto de información:

- Los materiales
- Del elemento a vaciar, tamaño y forma de las estructuras.
- Resistencia a la comprensión requerida.



- Condiciones ambientales durante el vaciado.
- Condiciones a la que estará expuesta la estructura

b. Elección de la resistencia promedio (f'_{cr}).

- **Calculo de la Desviación estándar**

Método 1

Si se posee un registro de resultados de ensayos de obras anteriores deberá calcularse la desviación estándar. El registro deberá:

- Representar materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones similares a aquellos que se espera en la obra que se va a iniciar.
- Representar a concretos preparados para alcanzar una resistencia de diseño f'_c que este dentro del rango de ± 70 kg/cm² de la especificada para el trabajo a iniciar.
- Si se posee un registro de 3 ensayos consecutivos la desviación estándar se calculará aplicando la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (2.1)$$

Donde:

S= Desviación estándar, en Kg/cm².

X_i = Resistencia de la probeta de concreto, en Kg/ cm².

\bar{X} = Resistencia promedio de n probetas, en Kg/ cm².

n = Numero de ensayos consecutivos de resistencia.



- Consistir de por lo menos 30 ensayos consecutivos o dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos 30 ensayos.

Si se posee dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos un registro de 30 ensayos consecutivos, la desviación estándar promedio se calculará con la siguiente fórmula:

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{(n1 - 1)(s1)^2 + (n2 - 1)(s2)^2}{(n1 + n2 - 2)}} \quad (2.2)$$

Donde:

\bar{s} = Desviación estándar promedio, en Kg/cm².

$s1, s2$ = Desviación estándar calculada para los grupos 1 y 2 respectivamente en Kg/cm².

$n1, n2$ = Numero de ensayos en cada grupo, respectivamente.

Método 2

Si solo se posee un registro de 15 a 29 ensayos consecutivos, se calculara la desviación estándar "s" correspondiente a dichos ensayos y se multiplicara por el factor de corrección indicado en la tabla 2.4 para obtener el nuevo valor de "s". El registro de ensayos a que se hace referencia en este Método deberá cumplir con los requisitos a), b) del método 1 y representar un registro de ensayos consecutivos que comprenda un periodo de no menos de 45 días calendario.



Tabla 2.4. Factores de corrección

MUESTRAS	FACTOR DE CORRECCION
<i>Menor de 15</i>	<i>Usar tabla 2.5</i>
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1.00

Fuente: ACI-211

▪ **Cálculo de la resistencia promedio requerida**

Una vez que la desviación estándar ha sido calculada, la resistencia a compresión promedio requerida (f'_{cr}) se obtiene como el mayor valor de las ecuaciones (1) y (2). La ecuación (1) proporciona una probabilidad de 1 en 100 que el promedio de tres ensayos consecutivos estará por debajo de la resistencia especificada f'_{c} . La ecuación (2) proporciona una probabilidad de similar de que ensayos individuales estén $35\text{kg}/\text{cm}^2$ por debajo de la resistencia especificada f'_{c} .

–Si la desviación estándar se ha calculado de acuerdo a lo indicado en el Método 1 o el Método 2, la resistencia promedio requerida será el mayor de los valores determinados por las formulas siguientes usando la desviación estándar “s” calculada.

Del ACI 318-99 se tiene:

$f'_{cr} = f'_{c} + 1.33 s \dots\dots\dots (2.3)$ $f'_{cr} = f'_{c} + 2.33 s - 35 \dots\dots\dots (2.4)$
--



Donde:

s = Desviación estándar, en kg/cm^2

- Si se desconoce el valor de la desviación estándar, se utilizara la Tabla 2.5 para la determinación de la resistencia promedio requerida.

Tabla 2.5. Resistencia a la compresión promedio

$f'c$	f'_{cr}
Menor de 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
sobre 350	$f'c + 98$

Fuente: ACI-211

c. Elección del Asentamiento (Slump).

Si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de la siguiente tabla 2.6:

Tabla 2.6. Consistencia y asentamiento

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" (0 mm) a 2" (50 mm)
Plástica	3" (75 mm) a 4" (100 mm)
fluida	\geq a 5" (125 mm)

Fuente: ACI-211

Si las especificaciones de obra no indican la consistencia, ni asentamiento requeridos para la mezcla a ser diseñada, utilizando la tabla 2.7 podemos seleccionar un valor adecuado para un



determinado trabajo que se va a realizar. Se deberán usar las mezclas de la consistencia más densa que puedan ser colocadas eficientemente.

Tabla 2. 7 Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción

Consistencia	Revenimiento	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados.	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura.	8	2
Vigas y muros reforzados.	10	2
Columnas.	10	2
Pavimentos y losas.	8	2
Concreto ciclópeo y masivo.	5	2

Fuente: ACI-211

d. Selección del tamaño máximo del agregado grueso.

Las Normas de Diseño Estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor que sea económicamente disponible, siempre que sea compatible con las dimensiones y características de la estructura. La *Norma Técnica de Edificación E. 060* prescribe que el agregado grueso no deberá ser mayor de:

- 1/5 de la menor dimensión entre las caras de encofrados; o
- 1/3 del peralte de la losa; o



-3/4 del espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de presfuerzo.

El tamaño máximo nominal determinado aquí, será usado también como tamaño máximo simplemente. Se considera que, cuando se incrementa el tamaño máximo del agregado, se reducen los requerimientos del agua de mezcla, incrementándose la resistencia del concreto. En general este principio es válido con agregados hasta 40mm (1½"). En tamaños mayores, sólo es aplicable a concretos con bajo contenido de cemento.

e. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.

La tabla 2.8, preparada en base a las recomendaciones del Comité 211 del ACI, nos proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado con o sin aire incorporado.



Tabla 2.8. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes

Asentamiento o slump (mm)	<i>Agua en lt/m³ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.</i>								
	10 <i>mm</i>	12.5 <i>mm</i>	20 <i>mm</i>	25 <i>mm</i>	40 <i>mm</i>	50 <i>mm</i>	70 <i>mm</i>	150 <i>mm</i>	
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO									
30 A 50 (1" a 2 ")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	180	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	-----	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
CONCRETO CON AIRE INCORPORADO									
30 A 50 (1" a 2 ")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	-----	
Contenido total de aire incorporado (%) en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

Los valores del asentamiento para concreto con agregado más grande que 40mm (1½") se basan en las pruebas de Slump hechas después de retirar las partículas mayores de 40mm (1½") por tamizado húmedo. Estos contenidos de agua de mezclado son valores máximos para agregado grueso angular y bien formado, y cuya granulometría está dentro de las especificaciones aceptadas (ASTM C 33 o ITINTEC 400.037). * Para concreto que contiene agregado grande será tamizado húmedo por una malla de 40mm (1½") antes de evaluar el contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en material más pequeño que 40mm (1½") debe ser el tabulado en la columna de 40mm (1½"). Sin embargo, los cálculos iniciales de las proporciones deben basarse en el contenido de aire como un porcentaje de la mezcla completa. ** Estos valores se basan en el criterio de que se necesita un 9% del contenido de aire en la fase de mortero del concreto.

Fuente: ACI-211



Como se observa, la tabla 2.8 no toma en cuenta para la estimación del agua de mezclado las incidencias del perfil, textura y granulometría de los agregados. Debemos hacer presente que estos valores tabulados son lo suficientemente aproximados para una primera estimación y que dependiendo del perfil, textura y granulometría de los agregados, los valores requeridos de agua de mezclado pueden estar algo por encima o por debajo de dichos valores. Al mismo tiempo, podemos usar la tabla 2.9 para calcular la cantidad de agua de mezcla tomando en consideración, además de la consistencia y tamaño máximo del agregado, el perfil del mismo. Los valores de la tabla 2.9 corresponden a mezclas sin aire incorporado.

Tabla 2.9. Contenido de agua de mezcla

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Contenido de agua en el concreto, expresado en lt/m ³ , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
		25mm a 50mm (1"-2")		75mm a 100mm (3"-4")		150 mm a 175 mm (6"-7")	
mm	Pulg	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso
9.5	3/8"	185	212	201	227	230	250
12.7	1/2"	182	201	197	216	219	238
19.1	3/4"	170	189	185	204	208	227
25.4	1"	163	182	178	197	197	216
38.1	1 1/2"	155	170	170	185	185	204
50.8	2"	148	163	163	178	178	197
76.2	3"	136	151	151	167	163	182

Fuente: ACI-211

La tabla 2.8 nos muestra también el **volumen aproximado de aire atrapado**, en porcentaje, a ser esperado en un concreto sin aire incorporado y los promedios recomendados del contenido total de aire,



en función del grado de exposición, para concretos con aire incorporado intencionalmente por razones de durabilidad a ciclos de congelamiento y deshielo, agua de mar o sulfatos. Obtenidos los valores de cantidad de agua y de aire atrapado para un metro cúbico de concreto procedemos a calcular el volumen que ocupan dentro de la unidad de volumen de concreto:

$$\text{Volumen de agua (m3)} = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (lt/m3)}}{\text{Peso específico del agua (1000 kg/m3)}}$$

f. Selección de la relación agua/cemento (a/c).

Existen dos criterios (por resistencia, y por durabilidad) para la selección de la relación a/c, de los cuales se elegirá el menor de los valores, con lo cual se garantiza el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones. Es importante que la relación a/c seleccionada con base en la resistencia satisfaga también los requerimientos de durabilidad.

▪ **Por resistencia :**

Para concretos preparados con cemento Portland tipo 1 o cementos comunes, puede tomarse la relación a/c de la tabla 2.10.



Tabla 2.10. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto.

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS (f'_{cr}) (kg/cm ²)*	RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	-----
400	0.43	-----
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

* Los valores corresponden a resistencias promedio estimadas para concretos que no contengan más del porcentaje de aire mostrado en la tabla 2.8. Para una relación agua/cemento constante, la resistencia del concreto se reduce conforme aumenta el contenido de aire.

Fuente: ACI-211

- **Por durabilidad**

La Norma Técnica de Edificación E.060 prescribe que si se desea un concreto de baja permeabilidad, o el concreto ha de estar sometido a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda. Se deberá cumplir con los requisitos indicados en la tabla 2.11.



Tabla 2.11. Máxima relación agua/cemento permisible para concretos sometida a condiciones especiales de exposición.

CONDICIONES DE EXPOSICION	RELACION AGUA/CEMENTO MAXIMA.
Concreto de baja permeabilidad : a) Expuesto a agua dulce.	0.50
b) Expuesto a agua de mar o aguas saladas.	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales. (*)	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda : a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas.	0.45 0.50
b) otros elementos.	
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salubres, neblina o rocío de esta agua.	0.40
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15mm.	0.45

(*) La resistencia $f'c$ no deberá ser menor de 245 kg/cm² por razones de durabilidad.

Fuente: ACI-211



g. Cálculo del contenido de cemento.

Se obtiene dividiendo los valores hallados del *volumen del agua y la relación agua/cemento*.

h. Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino.

Mediante el Método del Comité 211 del ACI.

Se determina el contenido de agregado grueso mediante la tabla 2.12, elaborada por el Comité 211 del ACI, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. La tabla 2.12 permite obtener un coeficiente b/b_0 resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg /m³.

Tabla 2.12. Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO		Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
		MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
mm	Pulg.	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1/	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2	0.76	0.74	0.72	0.70
50	2	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6	0.87	0.85	0.83	0.81

*Los volúmenes de agregado grueso mostrados, está en condición seca y compactada, tal como se describe en la norma ASTM C29. Estos volúmenes han sido seleccionados a partir de relaciones empíricas para producir concretos con un grado adecuado de trabajabilidad para construcciones armadas usuales. Para concretos menos trabajables, tales como el requerido en la construcción de pavimentos, pueden incrementarse los valores en 10% aprox. Para concretos más trabajables, tales como los que pueden requerirse cuando la colocación es hecha por bombeo, los valores pueden reducirse hasta en un 10%.

Fuente: ACI-211



Obtenido b/b_0 procedemos a calcular la cantidad de agregado grueso necesario para un metro cúbico de concreto, de la siguiente manera:

$$\text{Peso seco del A. Grueso (kg/cm}^3\text{)} = \frac{b}{b_0} \times (\text{Peso unitario compactado del A. grueso})$$

Entonces los volúmenes de los agregados grueso y fino serán:

$$\text{Vol. agregado grueso (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso seco del A. grueso}}{\text{Peso específico del A. grueso}}$$

$$\text{Vol. agregado fino (m}^3\text{)} = 1 - (\text{Vol. Agua} + \text{Vol. Aire} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. ag. grueso})$$

Por consiguiente el peso seco del agregado fino será:

$$\text{Peso del agregado fino (kg/cm}^3\text{)} = (\text{Vol. ag. fino}) (\text{Peso específico del agregado fino})$$

i. Ajustes por humedad y absorción.

El contenido de agua añadida para formar la pasta será afectada por el contenido de humedad de los agregados. Si ellos están secos al aire absorberán agua y disminuirán la relación a/c y la trabajabilidad. Por otro lado si ellos tienen humedad libre en su superficie (agregados mojados) aportarán algo de esta agua a la pasta aumentando la relación a/c, la trabajabilidad y disminuyendo la resistencia a compresión. Por lo tanto estos efectos deben ser tomados estimados y la mezcla debe ser ajustada tomándolos en cuenta.

Por lo tanto:

Si:

$$\text{Agregado grueso} \begin{cases} \text{Humedad} = \% Wg \\ \% \text{ absorcion} = \% ag \end{cases}$$

$$\text{Agregado Fino} \begin{cases} \text{Humedad} = \% Wf \\ \% \text{ absorcion} = \% af \end{cases}$$



Pesos de agregados húmedos

$$\text{Peso A. grueso humedo(kg)} = (\text{pesoA. grueso seco}) \left(1 + \frac{\%Wg}{100}\right)$$

$$\text{Peso A. fino humedo(kg)} = (\text{pesoA. fino seco}) \left(1 + \frac{\%Wf}{100}\right)$$

Agua efectiva:

$$\text{Agua en agregado grueso} = (\text{PesoA. grueso seco}) \left(\frac{\%Wg - \%ag}{100}\right) = X$$

$$\text{Agua en agregado fino} = (\text{PesoA. fino seco}) \left(\frac{\%Wf - \%af}{100}\right) = Y$$

$$\text{Agua efectiva(Lts)} = \text{Agua de diseño} - (X + Y)$$

j. Cálculos de las proporciones en peso.

Cemento : agregado fino : agregado grueso / agua

$\frac{\text{Pes. cemento}}{\text{Pes. cemento}} : \frac{\text{peso A. fino humedo}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. greueso humedo}}{\text{Peso cemento}} / \frac{\text{agua efectiva}}{\text{peso cemento}}$

k. Cálculos de las proporciones en volumen.

▪ **Datos necesarios :**

- Peso unitario suelto del cemento (1500 kg m3).
- Pesos unitarios sueltos de los agregados fino y grueso (en condición de humedad a la que se ha determinado la dosificación en peso).

▪ **Volúmenes en Estado suelto**

$\text{Cemento: Vol. cemento (m3)} = \frac{\text{Peso cemento (kg)}}{\text{P.U.cemento (1500 kg/m3)}}$
--

$\text{Agregado fino: Vol. A.fino (m3)} = \frac{\text{Peso A. fino húmedo (kg)}}{\text{P.U._A. fino húmedo (kg/m3)}}$

$\text{Agregado grueso: Vol. A.grueso (m3)} = \frac{\text{Peso A.grueso húmedo (kg)}}{\text{P.U._A.grueso húmedo (kg/m3)}}$



En el caso del **agua**, éste se calculará en litros por bolsa de cemento (Lts /Bls), se la siguiente manera:

$$\text{Agua (Lts /Bls)} = \left(\frac{\text{Cantidad de agua por m}^3 \text{ der } C^{\circ}}{\text{Peso cemento por m}^3 \text{ de } C^{\circ}} \right) \cdot \text{Peso de cemento por bolsa (42.5)}$$

▪ **Proporciones en volumen**

Cemento : agregado fino : agregado grueso / agua

$$\frac{\text{Vol. cemento}}{\text{Vol. cemento}} : \frac{\text{Vol A. fino}}{\text{Vol. cemento}} : \frac{\text{Vol A. fino A. grueso}}{\text{Vol. cemento}} / \text{agua} \left(\frac{\text{Lts}}{\text{Bls}} \right)$$

C : F : G / A

I. Cálculos de las cantidades por tanda.

▪ Datos necesarios

- Capacidad de la mezcladora
- Proporciones en volumen

▪ Cantidad de bolsas de cemento requerido :

Cant. de bls requerida:

$$\frac{(\text{Capacidad mezcladora}(\text{pie}^3))(0.0283 \text{ m}^3)(\text{Peso cemento}(\text{kg}))}{\text{Peso. cemento por bolsa (42.5 kg)}}$$

▪ Eficiencia de la mezcladora:

Debido a que la mezcladora debe ser abastecida por un número entero de bolsas de cemento, la *cantidad de bolsas de cemento por tanda* será igual a un número entero menor a la *cantidad de bolsas requerida* por la mezcladora.

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{(\text{Cantidad de bolsa de cemento por tanda})}{\text{Cantidad de bolsas requerida}} \times 100$$



▪ Cantidad de materiales por tanda

Teniendo las proporciones en volumen (C: F: G/A), calculamos las cantidades de materiales por tanda:

- Cemento: $1 \times 2 = 2$ bolsas.
- Agregado fino: $F \times 2 =$ Cantidad de A. fino en m^3 .
- Agregado grueso: $G \times 2 =$ Cantidad de A. grueso en m^3 .
- Agua: $A \times 2 =$ Cantidad de agua en Lts .

Secuencia de diseño de mezcla, Método ACI 211

Este procedimiento propuesto por el Comité AC 211, está basado en el empleo de tablas:

Secuencia:

1. Selección de la resistencia requerida (f'_{cr}).

$$f'_{cr} = f'_{c.} + 1.33 s$$

$$f'_{cr} = f'_{c} + 2.33 s - 35$$

Donde

$s =$ desviación estándar (kg/cm^2)

2. Selección del TMN del agregado grueso.
3. Selección del asentamiento. Ver Tabla 2.6 y 2.7.
4. Selección del contenido de agua. Ver Tabla 2.8.
5. Seleccionar el contenido de aire atrapado.
6. Seleccionar la relación agua/cemento. Ver tabla 2.9 y 2.10
7. Calculo del contenido de cemento.
8. *Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino.*



9. *Ajustes por humedad y absorción.*
10. *Cálculos de las proporciones en peso.*
11. *Cálculos de las proporciones en volumen.*
12. *Cálculos de las cantidades por tanda.*

2.1.5. Ensayos para la elaboración del concreto en el laboratorio (MTC E702)

2.1.5.1. Mezcla de concreto:

La mezcla de concreto debe ser tal que deje un 10 % de residuo después de haber moldeado la muestra de ensayo.

Mezcla con maquina: Antes que empiece la rotación de la mezcladora se debe introducir el agregado grueso con algo de agua que se use en la mezcla. Se pone en funcionamiento la mezcladora, al cabo de unas cuantas revoluciones se para, o no, para adicionar el agregado fino, el cemento y el agua.

Seguidamente se debe mezclar el concreto durante 3 minutos a partir del momento en que todos los ingredientes estén en la mezcladora. Se apaga la mezcladora durante 3 minutos y se pone en funcionamiento durante 2 minutos de agitación final.

Se debe cubrir el extremo abierto de mezcladora para evitar la evaporación durante la mezcla.

Debe restituirse todo mortero que se pierda por abrasión a la mezcladora para conservar las proporciones.



El concreto se debe recibir en un recipiente limpio y seco para agitarlo con un badilejo o pala hasta hacerlo uniforme y evitar la segregación

.Es difícil recobrar todo el mortero impregnado en las partes de las mezcladoras. Para compensar esta dificultad puede seguirse unos de los procedimientos siguientes para asegurar las proporciones finales correctas en la Mezcla:

1. Embadumando la Mezcladora: Justo antes de mezclar la bachada, la mezcladora es recubierta mezclando una bachada proporcionada de tal forma que simule cercanamente la bachada del ensayo. El mortero que se adhiera a la mezcladora después de descargar la bachada intenta compensar la pérdida de mortero de la bachada del ensayo.
2. Sobre proporcionamiento de la mezcla: La mezcla de ensayo se proporciona con una cantidad de mortero en exceso, cantidad estimada de antemano. Que pretende compensar en promedio aquella que se quede adherida a la mezcladora. En este caso, el tambor es limpiado antes de mezclar la bachada de ensayo.

2.1.5.2. Determinación del asentamiento de la mezcla del concreto.

(MTC E 705 2000, NTP 339.035, ASTM C 143)

Materiales:

- Molde (Cono de Abrams): De ser metálico, inatacable por el concreto, con espesor de lámina no inferior a 1.14mm (0.45") calibre N° 16. Su forma interior debe ser la superficie lateral de un tronco de cono de 200 ± 2 mm ($8 \pm 1/8$ ") de diámetro en la base mayor, 100 ± 2 mm

(4 “ $\pm 1/8$ ”) de diámetro en la base menor y 300 ± 2 mm (1/2” $\pm 1/8$ ”) de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre si y perpendicularmente al eje del cono. El interior del molde deber estar libre de abolladuras, ser liso y sin protuberancias como se muestra en la Fig.2.4.



Figura 2.4. Cono de Abrams, material para el ensayo del asentamiento del concreto

Fuente: Materiales de construcción/María Gonzales.

- Varilla compactadora: Debe ser de hierro liso, cilíndrica, de 16 mm (5/8”) de diámetro y longitud aproximada de 600 mm (24”); el extremo compactador debe ser hemisférico con radio de 8 mm (5/16”). Como se muestra en la Fig. 2.5.



Figura 2.5. Varilla compactadora

Fuente: Materiales de construcción/María Gonzales.

▪ **Procedimiento**

- Se humedece el molde y se coloca sobre una superficie horizontal rígida, plana, húmeda y no absorbente. Se sujeta firmemente con los pies y se llena con la muestra de concreto en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen del molde, aproximadamente.
- Un tercio del volumen del molde corresponde aproximadamente a una altura de 65 mm, dos tercios del volumen corresponden a una altura de 155 mm.
- Cada capa debe compactarse a 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre su sección transversal. Para la capa del fondo es necesario inclinar ligeramente la varilla dando aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro y avanzado con golpes verticales en forma de espiral, hacia el centro. La capa del fondo debe compactarse en todo su espesor, las capas intermedia y superior en su espesor respectivo, de modo que la varilla penetre ligeramente en la capa inmediatamente inferior.



- Al llenar la capa superior debe aplicarse concreto sobre el molde antes de compactar. Si al hacerlo se asienta por debajo del borde superior, debe agregarse concreto adicional para que en todo momento haya concreto sobre el molde. Después de que la última capa haya sido compactada debe alinearse a ras de la superficie del concreto. Inmediatamente se retira el molde, se alza cuidadosamente en dirección vertical.
- El alzado del molde debe hacerse en un tiempo aproximado de 5 a 10 segundos, mediante un movimiento uniforme hacia arriba, sin que se imparta movimiento lateral o de torsión al concreto.
- La operación completa, desde que se comienza a llenar el molde hasta que se retira debe hacerse sin interrupción en un tiempo máximo de 2 minutos 30 segundos. El ensayo de asentamientos debe comenzarse a más tardar 5 minutos después de tomada la muestra.
- Inmediatamente después se mide el asentamiento, determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro original de la base superior del espécimen.
- Si ocurre un derrumbamiento pronunciado o desprendimiento del concreto hacia un lado del espécimen, debe repetirse el ensayo sobre otra porción de la muestra de concreto. Si este resultado, el concreto carece probablemente de la plasticidad y cohesión necesarias para que el ensayo de asentamiento sea aplicable.

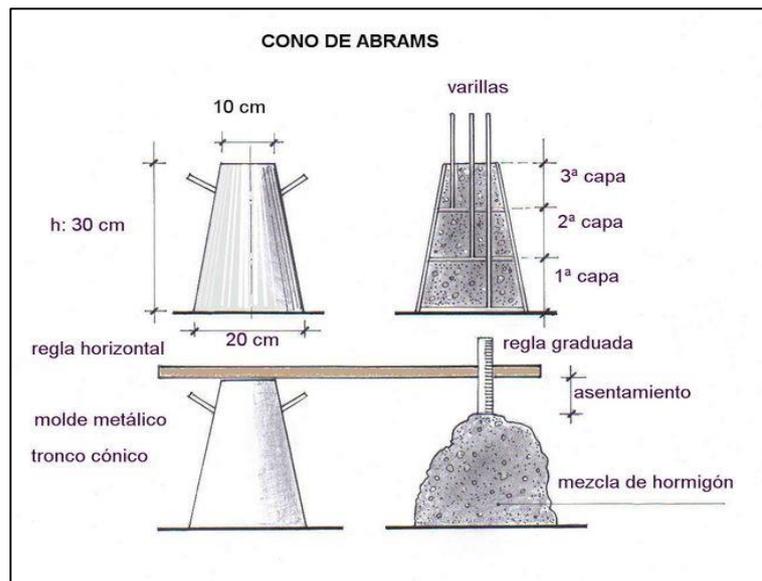


Figura 2.6. Procedimiento para medir el asentamiento del concreto.

Fuente: Tecnología del concreto/Sánchez Guzmán.

▪ **Normativa**

Las especificaciones normativas se muestran en la Tabla 2.13.

Tabla 2.13. Tolerancias del asentamiento del concreto

Especificaciones		Tolerancias
Asentamiento nominal	2" (50mm) y menos	$\pm \frac{1}{2}$ " (15mm)
	2" a 4" (50 mm a 100 mm)	± 1 " (25mm)
	Más de 4" (100mm)	1 1/2" (40mm)
Asentamiento "máximo" o "no debe exceder"	3" (75mm) o menos	En exceso 0" (0mm) En defecto 1 1/2" (40mm)
	Más que 3" (75mm)	En exceso 0" (0mm) En defecto 2 1/2" (65mm)
Tiempo de conservación en estos rangos (responsabilidad productor)		30 min desde llegada a obra

Fuente: NTP 339.114



**2.1.5.3. Elaboración y curado de probetas cilíndricas en obra. (MTC E 702
2000, NTP 339.033, ASTM C 31)**

Este procedimiento aplica para cilindros de 6 x 12 pulgadas (15 x 30 cm) usando concreto con un asentamiento ≥ 1 pulgada (2.5 cm).

▪ **Equipos y Materiales**

- Moldes Cilíndricos
- Varilla
- Mazo de goma (600g \pm 200g)
- Pala, plancha de albañil, regla para enrasar
- Carretilla u otro recipiente para muestreo y remezclado

▪ **Procedimiento de vaciado de concreto**

- Lugar del moldeo. Se deben moldear las muestras lo más cerca posible del lugar donde se van a guardar para su fraguado en las siguientes 24 horas. Los moldes se llevaran al depósito inmediatamente después de su elaboración. Colóquense los moldes sobre una superficie rígida y libre de vibraciones, evitando las indicaciones y movimientos bruscos. Transportándose evitando sacudidas, golpes, inclinaciones o raspaduras de la superficie.
- El concreto se debe colocar en los moldes utilizando un badilejo o herramienta similar.
- Se debe seleccionar el concreto de tal manera que la muestra sea representativa de la mezcla; además, se debe mezclar



continuamente la mezcla del concreto durante el llenado del molde con el objeto de prevenir la segregación.

- En la colocación de la capa final se le debe intentar colocar una capa de concrete que complete exactamente el relleno del molde.
- El número de capas debe ser el especificado en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14. Especificaciones del número de capas requeridas en la elaboración de las muestras de la mezcla de concreto.

Tipo de tamaño de la muestra en mm (pulgadas)	Módulo de compactación	Numero de capas	Altura aproximada de la capa en mm(pulgadas)
CILINDROS			
Hasta 300(12)	Apisonado(varillado)	2 iguales	100(4)
Mayor que 300 (12)	Apisonado(varillado)	Las requeridas	
Hasta 460 (18)	Vibración	2 iguales	200(4)
Mayor que 460(18)	Vibración	3 ò mas	
PRISMAS			
Hasta 200(8)	Apisonado(varillado)	2 iguales	100(4)
Mayor que 200 (8)	Apisonado(varillado)	3 o mas	
Hasta 200(8)	Vibración	1	200(8) C 172
Mayor que 200(8)	Vibración	2 o mas	

Fuente: MTC E 702 2000



- **Compactación:** La selección del método de compactación debe de hacerse con base en el asentamiento, a menos que el método se establecido en las especificaciones bajo las cuales se trabaja (Tabla 2.12). Los dos métodos de compactación son: apisonado (por varillado) y vibración (externa o intensa). Si en concreto tiene un asentamiento mayor de 75 mm (3") debe usarse el método de apisonado o el de vibración, prefiriéndose el método usado en la ejecución de la obra. Si el asentamiento es inferior a 25 mm (1") debe usarse el método de vibración. No se debe usar vibración interna para cilindros con diámetro inferior a 100 mm y para prismas de 100 mm de profundidad o menos.

- **Curado de los testigos del concreto**

- a. **Cubrimiento después del acabado.**

Para evitar la evaporación de agua del concreto sin endurecer, los testigos deben ser cubiertos inmediatamente después del acabado, preferiblemente con un platino no reactivo con el concreto, o con una lámina de plástico dura e impermeable. Se permite el uso de lona húmeda para el cubrimiento de la muestra, pero se evitara el contacto directo de la muestra con la lona, la cual debe permanecer húmedo durante las 24 horas contadas a partir del acabado de la muestra.

- b. **Extracción de la muestra.**

Las muestras deben ser removidas de sus moldes en un tiempo no menor de 20 horas ni mayor de 48 horas después de su elaboración cuando no se empleen aditivos; en caso contrario, se podrán emplear tiempos diferentes.



c. ***Ambiente del curado.***

Se deben mantener las muestras en condiciones de humedad con temperatura de $23.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($73.4 \pm 0.9^{\circ}\text{F}$) desde el momento del moldeo hasta el momento de ensayo.

El almacenamiento durante las primeras 48 horas de curado debe hacerse en un medio libre de vibraciones

La condición de humedad debe lograrse por inmersión de la muestra sin el molde en agua. Se permite lograr la condición de humedad por el almacenamiento en un cuarto húmedo.

No deben exponerse los especímenes a condiciones de goteo o de corrientes de agua.

Debe evitarse que se sequen las paredes de la muestra luego del periodo de curado.

2.1.6. Ensayo de control de Calidad del concreto Endurecido

2.1.6.1. Resistencia a la compresión (NTP. 339.034)

Es la medida más común de desempeño que usan los ingenieros para diseñar cualquier estructura.

Los resultados de pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para evaluar el cumplimiento del concreto suministrado con la resistencia especificada $f'c$.

Por definición un ensayo de resistencia corresponde al promedio de la resistencia de dos probetas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, ensayados a los 28 días. Ver Fig. 2.7.

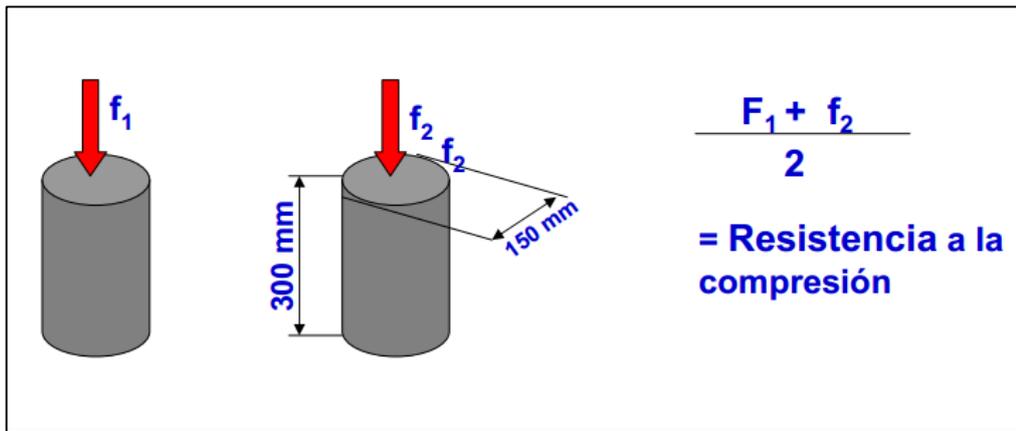


Figura 2.7. Manera de calcular el promedio de la resistencia a la compresión de dos testigos de concreto

Fuente: Artículo Resistencia mecánica del concreto.

O, (Nuevo en ACI 318.08) un ensayo de resistencia corresponde al promedio de la resistencia de tres probetas de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura, ensayados a los 28 días. Ver Fig.2.8.

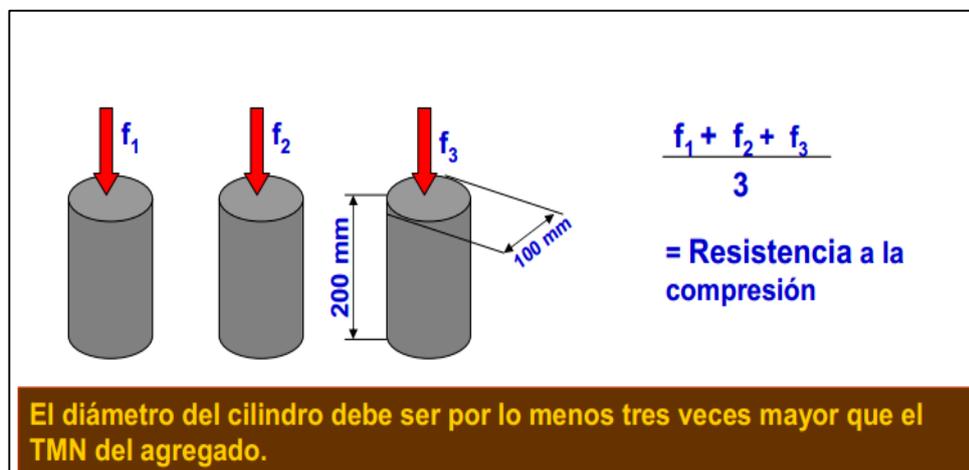


Figura 2.8. Manera de calcular el promedio de la resistencia a la compresión de tres testigos de concreto.

Fuente: Artículo Resistencia mecánica del concreto.

La resistencia a la compresión es CONFORME si:

- (a) Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos a 28 días será mayor o igual a f'_c .



(b) Ningún ensayo individual de resistencia será menor que $f'c$ en más de 35 kg/cm² cuando $f'c$ es 350 kg/cm² o menor.

Ningún ensayo individual de resistencia será menor que $f'c$ en más de 0.10 $f'c$ cuando $f'c$ es mayor a 350 kg/cm².

- **Ensayo a la resistencia a la compresión. (NTP 339.034 , ASTM C39)**
 - Identificar las probetas antes de refrentarlas.
 - Revisar las tolerancias de tiempo para realizar el ensayo de resistencia. Ver Tabla 2.15.

Tabla 2. 15 Tolerancia del tiempo para realizar el ensayo a resistencia

EDAD DE ENSAYO	Tolerancia de Tiempo permisible NTP 339.034	
	HORAS	%
24 h	± 0.5	± 2.1
3d	± 2	± 2.8
7 d	± 6	± 3.6
28 d	± 20	± 3.0
90 d	± 48	± 2.2

Fuente: NTP 339.034



– ***Preparación y acondicionamiento de las probetas***

No debe permitir que los cilindros se sequen antes de la prueba.

El diámetro de la probeta debe determinarse con aproximación de 0.1 mm promediando las medidas de 2 diámetros perpendiculares entre sí a una altura media del espécimen.

Para conseguir una distribución uniforme de la carga:

Se refrendan con mortero de azufre o con tapas de almohadillas de neopreno

– ***Colocación de la probeta***

Limpiar las superficies de los bloques superior e inferior y ambos lados de la probeta.

Centrar las probetas en la máquina de ensayo. Ver Fig. 2.9

La carga hasta completar la rotura debe ser axial. Ver Fig.2.10

– ***Velocidad de la carga***

Aplicar la carga en forma continua y constante. En el rango de 14 a 34 MPa/s durante la última mitad de la fase de carga.

Se debe anotar el tipo de falla. Ver la Fig. 2.11.

El resultado debe ser corregido por su factor de corrección. Ver Fig.2.12.

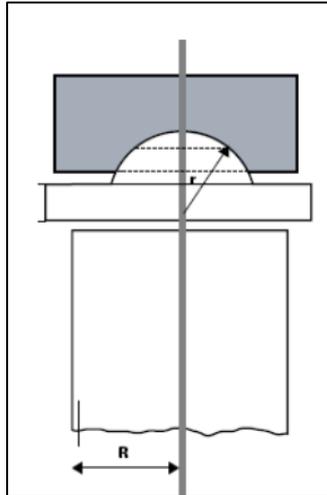


Figura 2.9. Centrado adecuado de la probeta en la máquina de ensayo

Fuente: Control de calidad del concreto/Luis Alvarado.

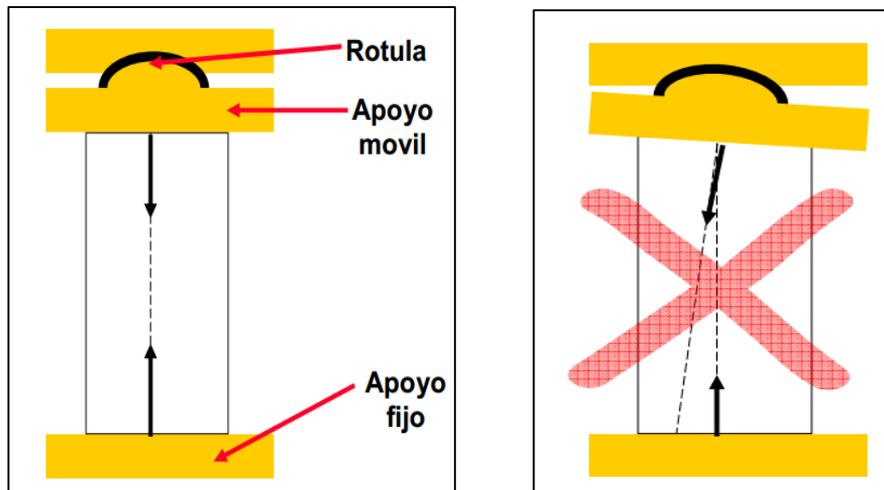


Figura 2.10. Muestra de la rotura correcta e incorrecta del testigo de concreto

Fuente: Control de calidad del concreto/Luis Alvarado.

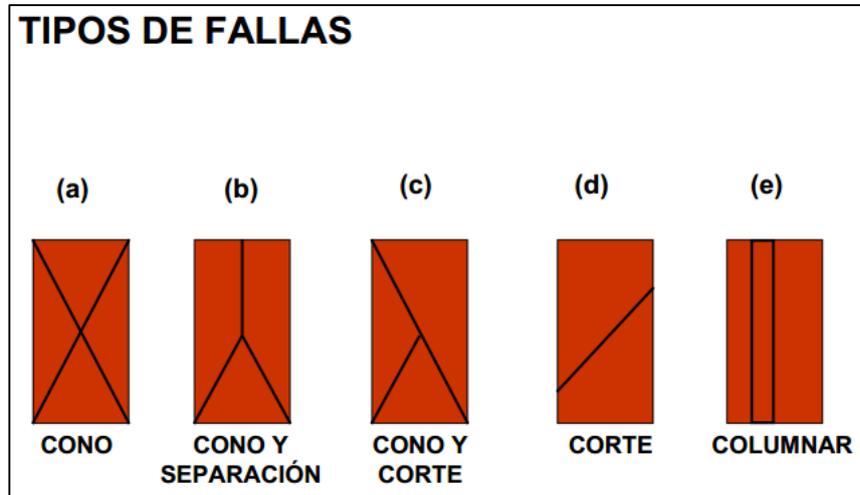


Figura 2.11. Tipos de falla de rotura del testigo de concreto

Fuente: Control de calidad del concreto/Luis Alvarado.

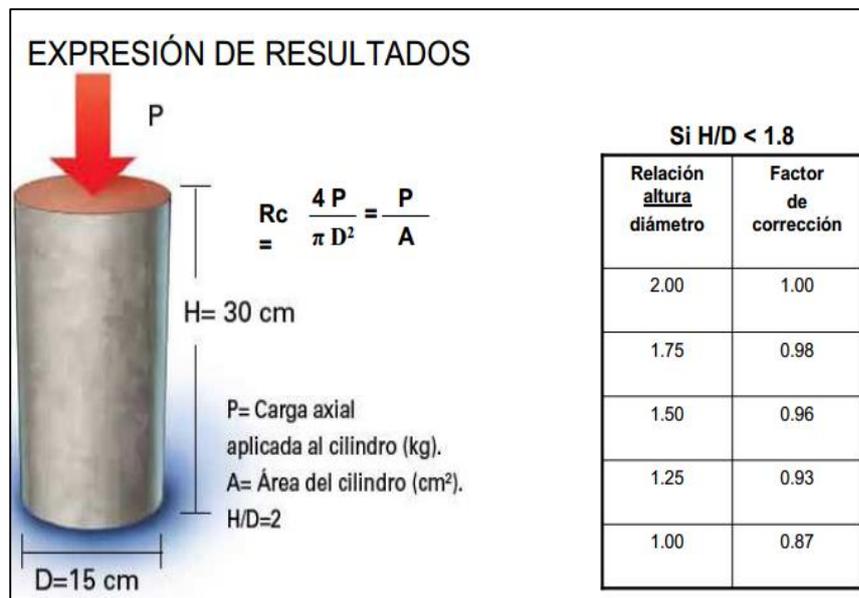


Figura 2.12. Factor de corrección del concreto

Fuente: Control de calidad del concreto/Luis Alvarado.



2.1.6.2. Resistencia a Tracción por Compresión Diametral (NTP 339.084)

Este método de ensayo consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral a toda la longitud de un espécimen cilíndrico de hormigón (concreto), a una velocidad prescrita, hasta que ocurra la falla. Ver Fig.2.13.

▪ Testigos de ensayo

Los especímenes se prepararan y fabricaran de acuerdo a los métodos de hechura y curación de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio o en el campo.

Los especímenes curados en cuarto húmedo, en el periodo comprendido entre su extracción del ambiente del cuarto y su ensayo, deberán cubrirse con una manta, cáñamo o yute húmedo y serán ensayadas en condiciones húmedas, tan pronto como sea posible.

El procedimiento de curado será utilizado para la evaluación de concretos livianos: el espécimen ensayados a los 28 días, estará bajo condición de aire seco durante 21 días a 23.0 ± 1.7 °C (73 ± 0 F) y 50 ± 5 % de humedad relativa, después de 7 días de curado húmedo.

▪ Velocidad de carga

La carga se aplicará en forma continua y evitando impactos, a una velocidad constante dentro del rango de 689 kPa/min a 1380 kPa/min hasta que falle el espécimen por el esfuerzo de tracción por compresión diametral.



▪ Expresión de resultados

La resistencia a la tracción por compresión diametral de la probeta se calcula con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{2P}{\pi l d} \quad (2.5)$$

Donde:

- T = Resistencia a la tracción por compresión diametral, kPa.
- P = Máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo, kN.
- l = longitud, m.
- d = Diámetro, m.

▪ Informe

- Identificación del cilindro.
- diámetro y longitud.
- Carga máxima.
- Edad del cilindro.
- Esfuerzo de tracción indirecta, calculando con aproximación a 50 KPa (5lb/pulg²).
- Porcentaje estimado de partículas de agregado fracturadas durante ensayo.
- Tipo de fractura si es diferente a la producida según el plano vertical.

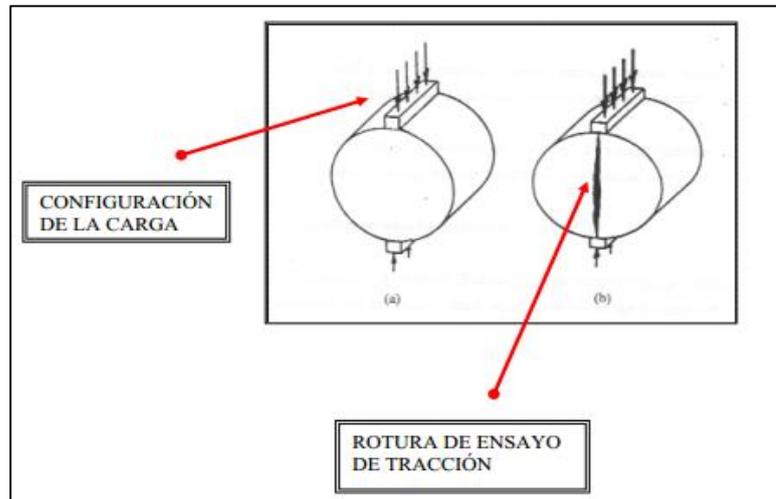


Figura 2.13. Manera que se ensaya a la resistencia a la tracción por compresión diametral

Fuente: Tecnología del concreto/Sánchez Guzmán.

2.1.6.3. Determinación de la densidad, absorción y porcentaje de vacíos.

(NTP 339.084, UNE 12390 – 7:2000)

▪ **Equipos utilizados :**

- Recipiente: recipiente de plástico totalmente limpio, provisto de una tapa.
- Balanza: Recipiente equipado con un estribo para poder pesar la probeta tanto en el aire como en el agua.

▪ **Procedimiento :**

- Las muestras de hormigón para llevar a cabo este ensayo pueden ser secciones de probetas cilíndricas con una masa aproximada de 800 gr.
- Se colocan las muestras de hormigón en un recipiente totalmente lleno y se saturan lentamente para conseguir llenar todos los poros de agua sin dejar huecos y permanecieron sumergidas en agua durante 24 horas.



- Transcurrido el tiempo la probeta se coloca mediante un estribo en una cesta metálica dentro del tanque de agua situado baja la balanza y, se mide la *masa aparente en el agua*.
- Luego se saca del tanque de agua, se quita la humedad superficial con una toalla y se vuelve a pesar, obteniendo la *masa saturada superficie seca*.
- Después colóquense las muestras en la estufa a una temperatura de 105 ± 5 °C y se deja secar durante 24 horas, se enfrían hasta temperatura ambiente y se pesa para obtener la *masa seca*.

Luego de determinar todos los parámetros, realizan los siguientes cálculos:

Volumen:

$$V = \frac{M_{SSS} - M_{AA}}{\rho} \quad (2.6)$$

Siendo:

V	Volumen de la probeta (cm ³)
M _{SSS}	Masa saturada superficie seca de la probeta (gr).
M _{AA}	Masa aparente en el agua (gr).
ρ	Densidad de agua=1 (gr/cm ³).

Absorción:

$$Ab = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} \times 100 \quad (2.7)$$

Siendo:

Ab	Absorción del concreto endurecido (%).
----	--



M _{SSS}	Masa saturada superficie seca de la probeta (gr).
M _s	Masa seca de la probeta (gr).

Densidad:

$$D_s = \frac{M_s}{V} \quad (2.8)$$

Siendo:

D _s	Densidad seca del concreto endurecido (gr/cm ³).
M _s	Masa seca de la probeta (gr).
V	Volumen de la probeta (cm ³).

Porosidad:

$$P = \frac{M_{SSS} - M_s}{M_{SSS} - M_{AA}} \times 100 \quad (2.9)$$

Siendo:

P	Porosidad del concreto endurecido (%).
M _s	Masa seca de la probeta (gr).
M _{SSS}	Masa saturada superficie seca de la probeta (gr).
M _{AA}	Masa aparente en el agua (gr).

2.1.6.4. Determinación del Módulo de Elasticidad estático en compresión del concreto endurecido. (ASTM C469)

Cuando un espécimen de concreto endurecido se somete por primera vez a una carga de compresión axial, que se incrementa progresivamente a velocidad uniforme hasta un valor inferior al de

ruptura y después se retira a la misma velocidad, ocurre lo que se indica esquemáticamente en la Fig. 2.14.

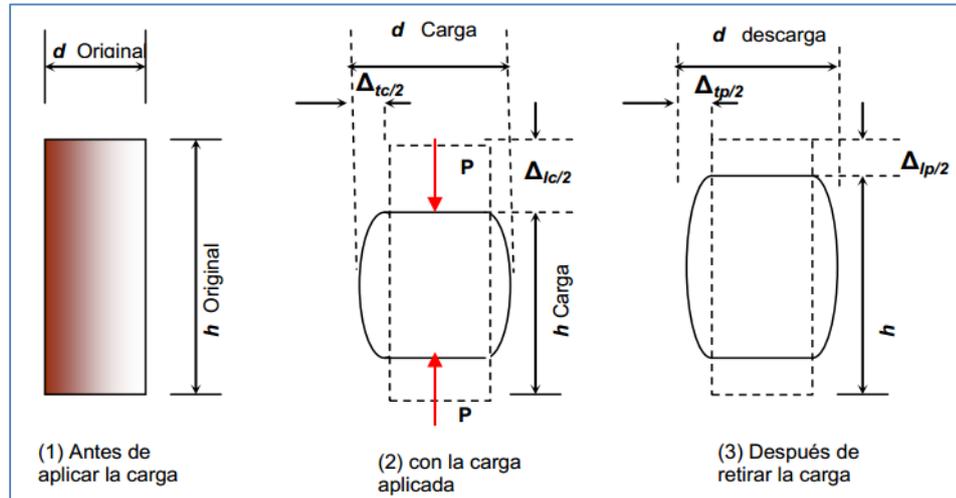


Figura 2.14. Representación esquemática de las deformaciones de un espécimen cilíndrico de concreto a compresión axial.

Fuente: Tecnología del concreto/ Sánchez de Guzmán.

En el esquema (1) de esta figura, se representa un espécimen cilíndrico de diámetro d y altura h , antes de aplicarle la carga; una vez aplicada la carga hasta llegar al valor P , (que produce una deformación longitudinal Δlc y una deformación transversal simultánea Δtc , según se muestra en el esquema (2)); después de retirar completamente la carga, el espécimen no recupera totalmente sus dimensiones originales, quedándole una deformación permanente, tanto en dirección longitudinal (Δlp) como en dirección transversal (Δtp), como se hace notar en el esquema (3).

Si durante el proceso de carga y descarga completo en el espécimen, se miden las deformaciones parciales (δ) a diferentes niveles del esfuerzo aplicados (ζ) se pueden obtener pares de datos (esfuerzo y deformación) que al ser representadas en un sistema de ejes

ortogonales, con las deformaciones como abscisas y los esfuerzos longitudinales como ordenadas, producen una gráfica como la indicada en la Fig. 2.15, la cual identifica la manera cómo evolucionan las deformaciones longitudinales del espécimen en el curso de este proceso de carga y descarga.

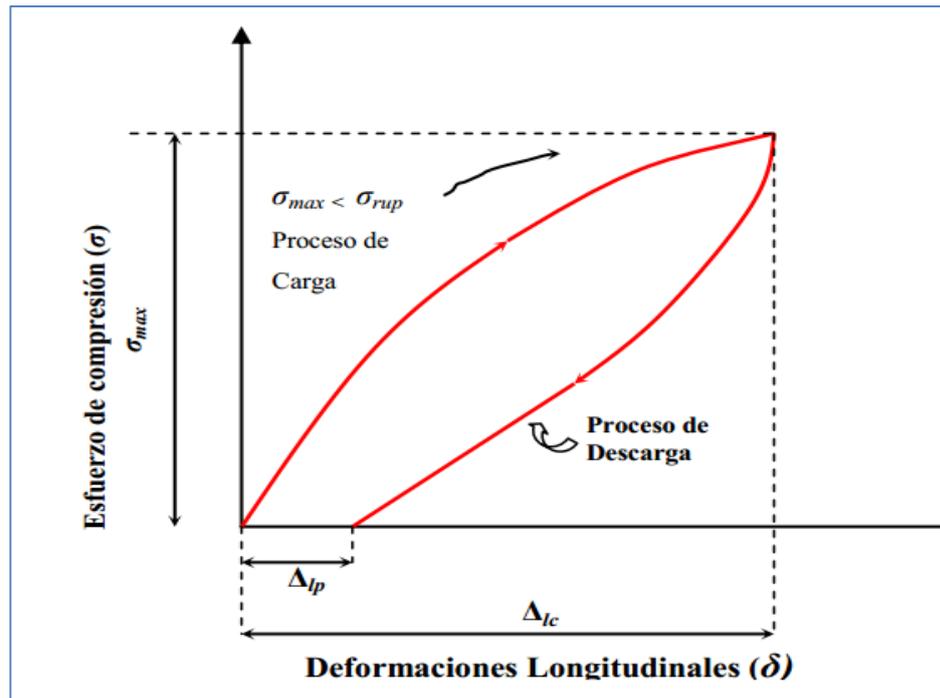


Figura 2.15. Representación gráfica característica de la correlación entre esfuerzos y deformaciones del concreto sometido a un proceso de carga axial a compresión y descarga

Fuente: Diseño de estructuras de concreto armado/ Teodoro E. Harmsen

En esta figura se observa, que el concreto no se comporta como un material elástico, pues además de que conserva una deformación permanente (Δ/P), la línea que representa la relación entre esfuerzos y deformaciones sólo exhibe un reducido tramo inicial de proporcionalidad, al comenzar la aplicación de la carga, y después se manifiesta como una curva debido a que las deformaciones aumentan progresivamente en mayor proporción que los esfuerzos. Para

explicar el comportamiento del concreto endurecido en este aspecto, es frecuente considerarlo como un material consistente de dos fases, es decir, un conjunto de partículas duras y resistentes (los agregados) dispersos en una matriz relativamente más débil (la pasta de cemento hidratada), y que la respuesta del conjunto (el concreto) a la aplicación de esfuerzos deriva de lo que ocurre en la región del contacto entre ambas fases. En apoyo de esta consideración, en la Fig. 2.16, se indican las formas que ordinariamente presentan las gráficas esfuerzo deformación unitaria, determinadas individualmente para agregados de buena calidad, la pasta de cemento hidratado y el concreto que los contiene.

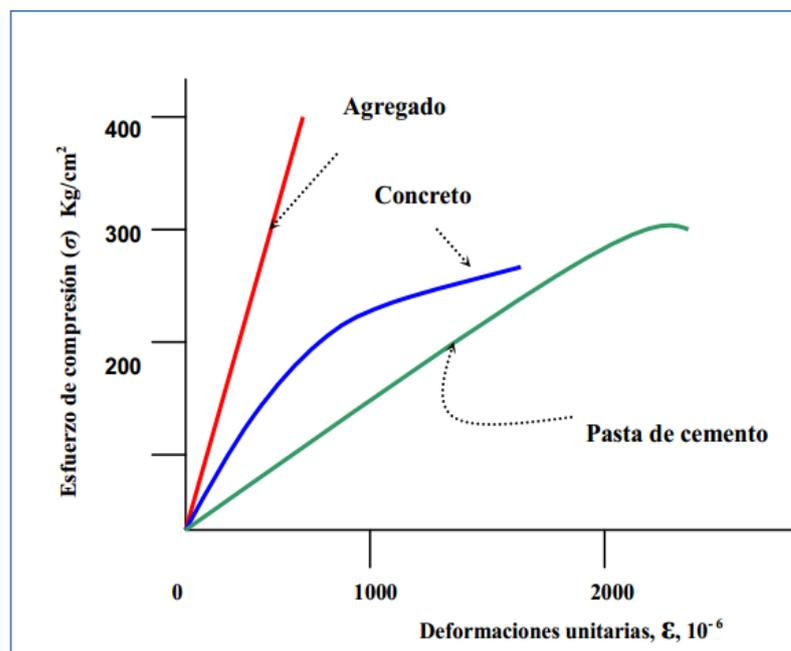


Figura 2.16. Gráfica esfuerzo-deformación de los agregados, pasta del cemento y concreto.

Fuente: Diseño de estructuras de concreto armado/ Teodoro E. Harmsen

De acuerdo con esta presentación, en los agregados la gráfica es prácticamente una línea recta hasta el punto de ruptura y la que



corresponde a la pasta también lo es, hasta un nivel aproximado de 90 a 95 por ciento de su esfuerzo de ruptura, y ambos componentes exhiben una falla de tipo frágil; no obstante ello, la unión de estos materiales para construir el concreto, conduce a un material compuesto cuya gráfica es una línea casi desde el principio, y que en la falla se manifiesta menos frágil. Lo que con frecuencia se admite que ocurre en el concreto, es que existan micro fisuras y otras discontinuidades en la zona de contacto pasta – agregado desde antes que el concreto reciba su primera carga, lo que se traduce en una adhesión imperfecta entre ambos componentes y en la posibilidad de que se produzcan concentraciones de esfuerzo en esa zona. A continuación, conforme se aplica la primera carga, las microfisuras comienzan a extenderse, después se propagan a través de la pasta y terminan por hacer fallar el concreto. En estas condiciones, las deformaciones en el concreto tienden a incrementar más que los esfuerzos medios aplicados, salvo en un breve intervalo inicial, en el que las micro fisuras preexistentes permanecen prácticamente estables y se manifiesta proporcionalidad entre esfuerzos y deformaciones. En la fig. 2.17 se delimitan cuatro intervalos del nivel de esfuerzos en la gráfica esfuerzo–deformación unitaria del concreto, que se identifican con cuatro diferentes etapas en el proceso de crecimiento y propagación de las grietas durante la aplicación de carga continua hasta la ruptura.

En los materiales elásticos cuya grafica esfuerzo – deformación unitaria es una línea recta, el Módulo de Elasticidad define la relación de proporcionalidad que existe entre ambas variables, es decir, se identifica con la pendiente de esa recta. Debido a la forma como se manifiesta la relación entre los esfuerzos y las deformaciones en el concreto, no es posible asignarle estrictamente hablando, un Módulo de Elasticidad; sin embargo para materiales así, cuya gráfica es una curva, suelen considerarse otras variantes del módulo de elasticidad, que pueden referirse a la pendiente de la tangente en el origen o en otro sitio, de la secante entre el origen y otro punto, o de la cuerda entre dos puntos sobre la curva.

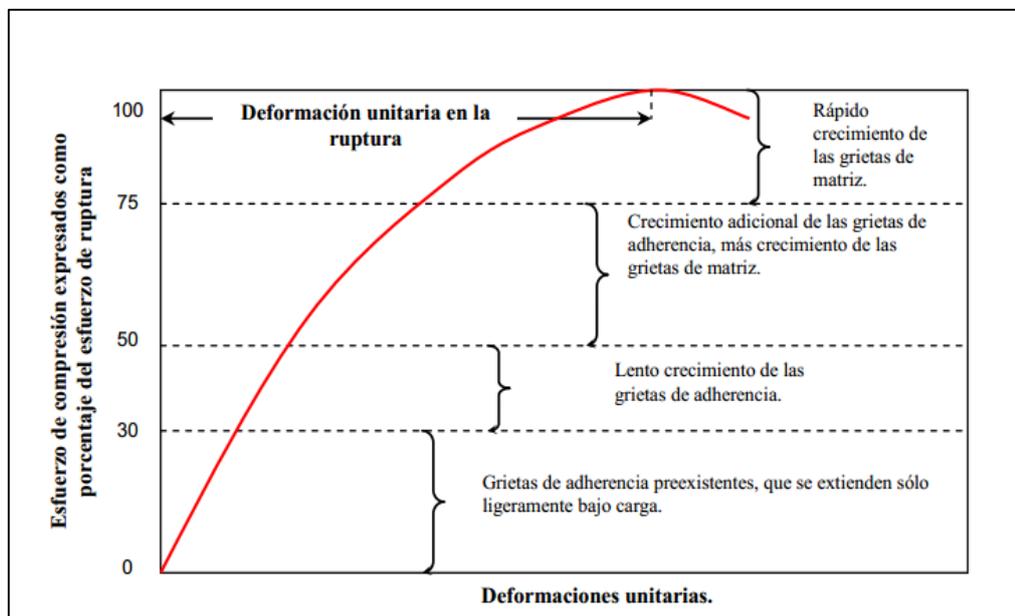


Figura 2.17. Declinación de la curva esfuerzo-deformación unitaria del concreto evoluciona el crecimiento de grietas.

Fuente: ASTM C-469

En el caso del concreto, abarcando un intervalo inicial de esfuerzo adecuado a los valores de diseño, de modo que al trabajar el concreto dentro de ese intervalo pueda suponerse razonablemente elástico. Conforme a la norma ASTM C 469 el Módulo se define por la pendiente de la cuerda AB, tal como se indica en la Fig. 2.18.

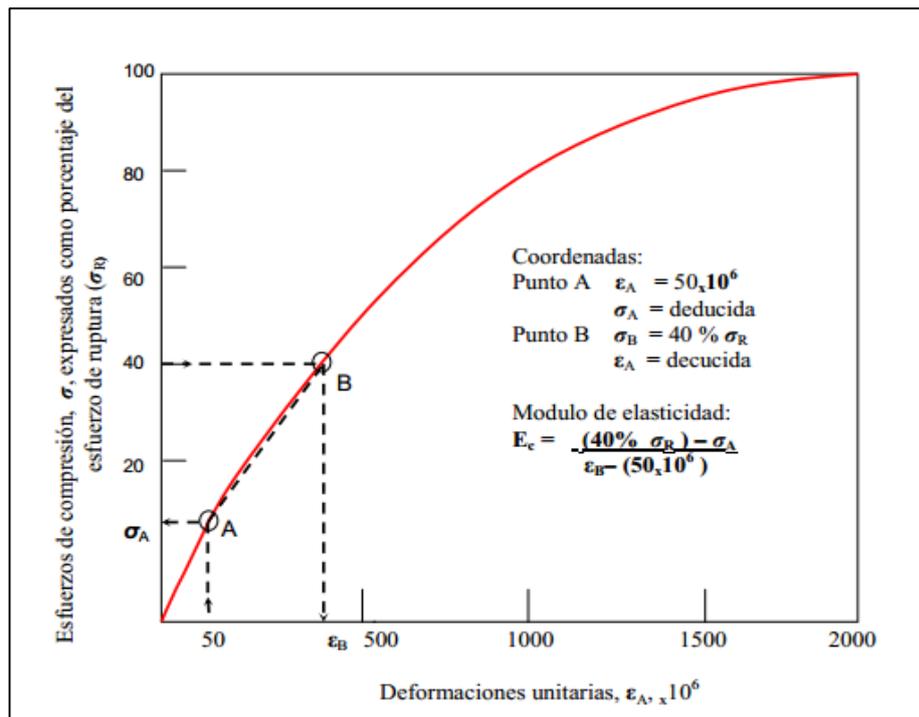


Figura 2.18. Criterio para definir el módulo de elasticidad estático a compresión del concreto

Fuente: ASTM C-469

En el método de prueba ASTM C 469, se define el procedimiento para determinar el Módulo de Elasticidad estático a compresión del concreto, ensayando especímenes cilíndricos elaborados normalmente conforme a los métodos ASTM C 192 y C 31 y también núcleos extraídos de la estructura conforme al método ASTM C 42. el criterio que se aplica, según lo indicado en la Fig 2.17 consiste básicamente en definir dos puntos (A y B) sobre la curva esfuerzo-



deformación unitaria del concreto ensayado, a fin de calcular la pendiente de la cuerda AB definida de esa manera. Las coordenadas del punto A, son: una abscisa fija (ϵ_A) igual a una deformación unitaria de 50 millonésimas, y una ordenada (ζ_A) determinada a partir de esa deformación, las coordenadas del punto B son: una ordenada fija (ζ_B) igual a un esfuerzo equivalente al 40 por ciento del esfuerzo de ruptura del concreto que se ensaya; y una abscisa (ϵ_B) determinada a partir de ese esfuerzo. Una vez conocidas estas coordenadas, el Módulo de Elasticidad se determina calculando la tangente del ángulo que la cuerda AB forma con el eje horizontal. El Módulo de Elasticidad del concreto, puede variar en función de diversos factores, tales como: el estado de humedad y de compactación del concreto, la relación agua / cemento y edad de la pasta y las características de los agregados, principalmente. En relación con la humedad del concreto, se dice que en estado saturado exhibe un módulo de elasticidad más altos que en estado seco (contrariamente a lo que ocurre con la resistencia a compresión) y que este incremento en el módulo, puede ser del orden de un 3 %. En este aspecto, cabe hacer la consideración de que en estado seco las microfisuras y discontinuidades preexistentes no contiene agua y por ello el concreto se deforma con más facilidad, lo cual a veces se manifiesta por una excesiva deformación al iniciar la carga del espécimen. Se supone que, para evitar la eventual influencia de un secado superficial o de cualquier reacomodo que pueda ocurrir en el espécimen al comenzar a cargarlo, el módulo se calcula por la pendiente de la cuerda a partir del punto A (ver fig. 2.17)



en vez de hacerlo por la pendiente de la secante al origen, a fin de no tomar en cuenta las posibles deformaciones anormales al principio de la carga.

Tanto la relación agua/cemento de la pasta como su edad, son factores que determinan la resistencia a compresión del concreto en el momento de su ensaye, por consiguiente; su influencia en el módulo de elasticidad puede considerarse agrupada al examinar la relación que normalmente se manifiesta entre la resistencia a compresión y el Módulo de Elasticidad del concreto.

Cuando se requiere definir el Módulo de Elasticidad del concreto para fines de diseño, es posible estimarlo directamente en el concreto de uso previsto o estimarlo mediante expresiones empíricas que lo relacionan con la resistencia a compresión, si bien en la mayoría de los casos se opta por lo segundo. Para esta finalidad, en el Reglamento ACI 318 se recomienda la siguiente expresión, en unidades del mismo sistema inglés, que es aplicable a concretos con peso unitario entre 90 y 55 lb/pie³ (entre 1.5 y 2.5 ton/m³) aproximadamente.

$$E_c = 33 W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \quad (1) \quad (2.10)$$

O su equivalente en unidades del sistema métrico.

$$E_c = 0.1303 W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \quad (2) \quad (2.11)$$



En donde: E_c = Módulo de Elasticidad estático a compresión, determinado a la edad de proyecto en lb/pul² o en Kg/cm² W_c = Peso unitario del concreto endurecido, en condición seca al aire. f'_c = Resistencia a compresión del proyecto en lb/pul² o en Kg/cm².

Procede señalar, que el hecho de incluir como variable el peso unitario del concreto, es una forma de reconocer la influencia que sobre el módulo de elasticidad ejercen el peso específico de los agregados y su proporción en el concreto.

Por otra parte, en el informe del comité ACI 363 relativo a los concretos de alta resistencia, se cuestiona la aproximación con que puede estimarse el Módulo de Elasticidad mediante la expresión anterior, cuando la resistencia a compresión del concreto es mayor de 400 Kg/cm², y se plantea la posibilidad de una mejor estimación con el uso de la siguiente expresión, que es aplicable en el intervalo de resistencias entre 3000 y 1200 lb/pul² (entre 200 y 850 Kg/cm²) aproximadamente, aunque sólo para concreto de peso "normal" al que puede suponerse un peso unitario entre 140 y 155 lb/pie² (entre 2.2 y 2.5 Ton/m³):

$$E_c = 40000 \sqrt{f'_c} + 1.0 \times 106 \quad (2.12)$$

Expresada en unidades del sistema inglés, o su equivalente en unidades del sistema métrico:

$$E_c = 10615 \sqrt{f'_c} + 70423 \quad (2.13)$$



En las cuales E_c y f'_c están considerados en lb/pul² o en Kg/cm² en ambas expresiones respectivamente

▪ **Calculo del Módulo de elasticidad según la NTE E.060.**

Para concretos de peso unitario W_c comprendido entre 1450 y 2500 kg/m³, el módulo de elasticidad, E_c , para el concreto puede tomarse como:

$$E_c = (W_c)^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \quad (2.14)$$

Para concretos de peso unitario normal ($w_c \approx 2300$ kg/m³), E_c , puede tomarse como:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \quad (2.15)$$

Pueden usarse otros valores de E_c que estén suficientemente respaldados por resultados de laboratorio.

En ausencia de resultados experimentales confiables, el módulo de rigidez al esfuerzo cortante del concreto se podrá suponer igual a:

$$G = E_c / 2,3 \quad (2.16)$$

El módulo de elasticidad, E_s , para el acero de refuerzo no preesforzado puede tomarse como 200 000 MPa.

El módulo de elasticidad, E_p , para el acero de preesforzado deberá determinarse mediante ensayos o será suministrado por el fabricante.



2.1.6.5. Comportamiento al Fuego del concreto

▪ **Generalidades :**

El concreto es un material que tiene las propiedades adecuadas para proporcionar una protección contra al fuego. Las excelentes propiedades de resistencia permiten proteger vidas cumpliendo de forma eficaz todos los objetivos en cuanto a protección.

En comparación con otros materiales de construcción habituales, el concreto presenta de forma fácil y económica un mejor comportamiento frente al fuego, *cabe resaltar que el concreto no arde, no aumenta la carga del fuego y detiene la propagación del mismo*. De esta manera protege eficazmente, proporcionando recorridos de emergencia seguros a los ocupantes.

El concreto tampoco produce humo ni gases tóxicos, lo que contribuye a disminuir el riesgo de los ocupantes. Disminuye la magnitud del incendio y con ello también el riesgo de contaminación ambiental.

La solidez del concreto frente al fuego facilita la extinción de los incendios y reduce el riesgo de colapso estructural. Convirtiéndose en un material fácil de reparar después de un incendio.

El concreto tiene buenas propiedades con respecto a la resistencia al fuego. Por lo que podemos considerar los siguientes criterios para definir el desempeño del concreto:

1. La capacidad para soportar cargas.
2. La resistencia a la penetración de las flamas.



3. La resistencia a la transferencia de calor, cuando el concreto se utiliza para proteger el acero.

En la práctica lo que se requiere del concreto estructural es que preserve durante cierto tiempo la acción de la estructura.

Vale la pena recordar que los metales pierden resistencia con el aumento de temperatura y en el caso del acero después de los 430 °C se empieza a perder resistencia, llegando hasta la mitad de su resistencia a los 600 grados C.

Considerando solamente el comportamiento del concreto como material, el fuego introduce altos gradientes de temperatura y como consecuencia, las capas calientes de la superficie tienden a separarse y descascararse de la parte interior que está más fría; lo cual fomenta la *formación de grietas* en las juntas o en los planos de las varillas de refuerzo y una vez que el acero quede expuesto, conduce el calor y acelera su acción.

El efecto del aumento de la temperatura sobre la resistencia del concreto es insignificante a menos de 300 °C, pero después de los 400 °C puede ocurrir una pérdida muy importante de resistencia, llegando a valores inferiores al 45% de $f'c$.



▪ **Ensayo del comportamiento al fuego del concreto :**

Consideraciones

En este ensayo se estudia el comportamiento del hormigón con el fuego, sometidos a altas temperaturas y para ello se estable que los puntos relacionados con la reacción al fuego de especial interés es:

- Influencia de la velocidad del incremento de temperatura en las probetas ensayadas.
- Afectación del hormigón sometido a altas temperaturas en su resistencia a la comprensión.
- Pérdida de peso de los hormigones debido al aumento de la temperatura.

Para determinar el primer aspecto, se ensayan las probetas donde una de ellas se le aplica una subida de temperatura constante durante dos horas, alcanzando al cabo de dos horas 300 °C ,durante a 30 minutos permanece a esta temperatura y después se retira la probeta del horno. A este proceso se le denomina *calentamiento lento*.

Luego se introduce la otra probeta con el horno caliente a 300 °C Y permanece en su interior durante 30 minutos. Transcurrido ese tiempo, se retira y recibe el nombre de *calentamiento rápido*.

Luego pesar las probetas, efectuar el ensayo de Resistencia a la comprensión y verificar resultado



2.2. CAUCHO

2.2.1. El neumático

2.2.1.1. Origen

En el año 1880, el norteamericano Charles Goodyear, descubre en forma accidental el proceso de vulcanización, con el que se da al caucho la resistencia y solidez necesaria para fabricarlo. Esto consistió en mezclar el caucho con azufre y luego calentada, la goma endurecía y tomaba la calidad del cuero y no se disolvía con tanta facilidad en petróleo y otras soluciones. A este proceso se le llamó vulcanización, que proviene de Vulcano, dios romano del fuego.

En el año 1887, el escocés, John Boyd Dunlop, desarrolló el primer neumático con cámara de aire. Dunlop infló unos tubos de goma con una bomba de aire. Después envolvió los tubos de goma con una lona para protegerlos y los pegó sobre las llantas de las ruedas de un triciclo. Hasta entonces, la mayoría de las ruedas tenían llantas con goma maciza, pero los neumáticos permitían una marcha notablemente más suave. El desarrollo del neumático con cámara de Dunlop llegó en un momento crucial durante la expansión del transporte terrestre, con la construcción de nuevas bicicletas y automóviles

En realidad más allá de cauchos naturales y sintéticos, aquí se conjugan las cualidades de más de 200 materias distintas necesarias, para obtener el neumático que todos conocemos. Negros de carbono, sílices, azufres, plastificantes, vulcanizantes y también hilos metálicos o textiles como el poliéster, el rayón, el kevlar. Estas diversas materias

primas se convertirán en un sin número de elementos, productos planos o perfilados, telas metálicas o textiles, aros. El conjunto de estos productos darán al neumático sus propiedades de elasticidad, resistencia al desgaste, adherencia y longevidad.

Además su composición del neumático se mostrara en la Fig.2.19.

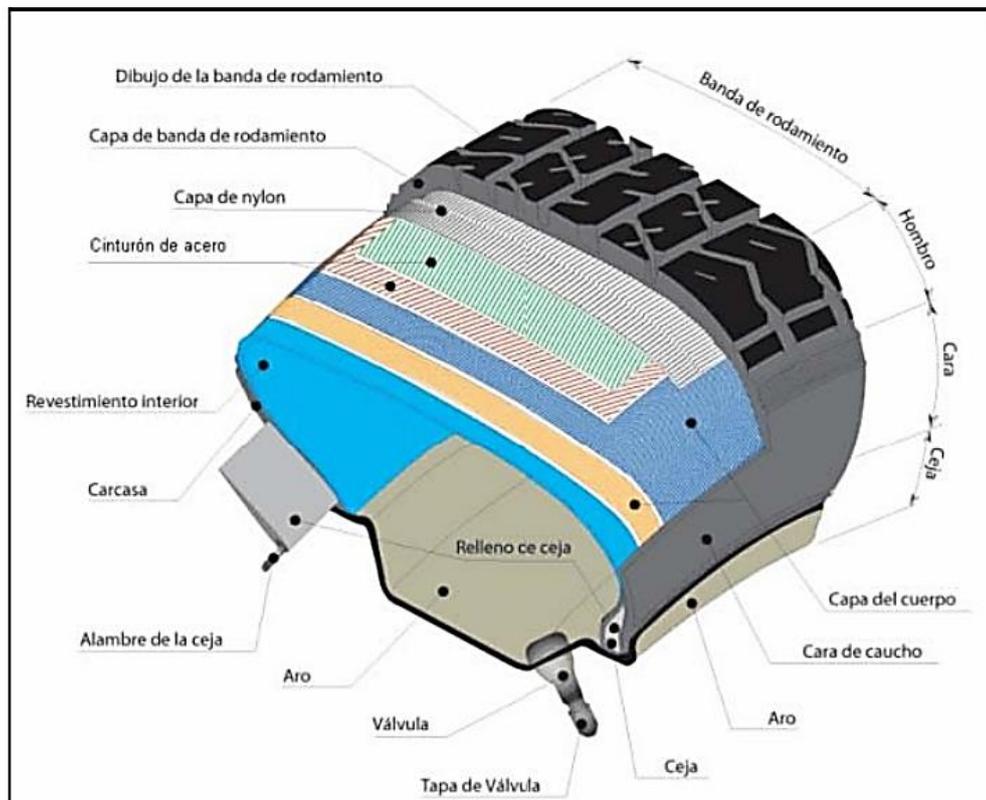


Figura 2.19. Diagrama de un neumático.

Fuente: Mecánica del automóvil actual/ Jesús Calvo Martín.



Figura 2.20. Composición de una llanta de pasajeros.

Fuente: Afiche de la V feria Internacional de Energía, Gestión de Residuos y Ecoeficiencia EEC 2013, presentado por Ing. Cip. Petroquímico.

2.2.1.2. Definición

El Neumático (o llanta) es un volumen toroidal de aire comprimido que tiene una alta composición polimérica y que exhibe las características de una membrana flexible a la presión proporcionada por la carga que transporta, con la habilidad de amortiguar y maniobrar la rueda.

Además es componente mecánico de la rueda de un vehículo, que otorga seguridad a las personas y a la carga, fabricado a base de caucho, productos químicos, hilos textiles y/o alambres y otras materias, que va montado sobre el aro, y que trabaja a presión de aire (u otros) para dar resistencia, capacidad de carga, confort y dirigibilidad. Sus partes principales son: banda de rodamiento, costado, carcasa y pestaña el componente mecánico de la rueda de un vehículo,



(Reglamento técnico para neumáticos, camión ligero, buses y camiones – Perú).

2.2.1.3. Proceso de fabricación

- **Mezclado.**

Aunque las diferentes partes de la llanta requieren distintos tipos de componentes de caucho para lograr características específicas, todos los compuestos para la manufactura de las llantas contienen caucho natural o sintético, cargas reforzantes, antioxidantes, plastificantes y agentes vulcanizantes. Esta materia es medida específicamente para el tipo de compuesto de caucho que será producido y luego es mezclado en un mezclador <<Banbury>>. El compuesto es procesado para formar los diferentes componentes de las llantas.

Virtualmente todos los componentes de las llantas son obtenidos de compuestos del caucho empleando dos procesos: calandrado y tubulado o extrusión.

- **Calandrado.**

En la fabricación de llantas, el calandrado es el proceso en el cual los componentes se obtienen al presionar el caucho entre dos grandes rodillos. Las láminas de caucho que proceden de la mezcladora Banbury, se introducen en molinos donde son cantadas y luego cortadas en tiras. Estas tiras son llevadas a la calandría la que presiona las láminas de caucho hasta unir las. Otros materiales como el poliéster, el rayón y el nylon pueden ser introducidas a la calandría para ser



comprimidos entre láminas de caucho, dependiendo del tipo de llanta que se fabricará.

▪ ***Tubulado o Extrusión.***

En la máquina extrusora los compuestos del caucho pasan por un molde que distribuye el volumen del caucho para formar la parte de la llanta que se esté fabricando. El tubulado es el proceso mediante el cual se obtiene el piso de la llanta, los costados y los rellenos. Piso de la llanta. El piso es el compuesto que en la llanta tendrá el contacto con el pavimento y el caucho con que está compuesto debe resistir la abrasión y ruptura. Costados. Son las partes laterales de la carcasa; cubiertas por compuestos de caucho con una alta resistencia a la fatiga por flexión.

▪ **Preparación de Materiales.**

En la máquina "Steelastic" se fabrican los cinturones estabilizadores, éstos son hechos de acero, y se fabrican extruyendo las cuerdas de acero entre capas del compuesto de caucho. El material ya extruído se corta en forma diagonal. Las tiras cortadas se unen para formar un cinturón de acero continuo y se envuelven en rollos.

▪ **Proceso de Construcción.**

Aros y Talón. El aro es alambre de acero revestido de cobre para evitar la oxidación, aislado individualmente por compuestos de caucho para evitar la fricción. Su función es la de fijar (anclar) la llanta en el rin y deben tener alta resistencia a la ruptura.



Proceso de Ensamblaje. La capa sellante, el armazón, el talón, el relleno de talón, los costados, los cinturones estabilizadores y el piso se ensamblan para formar la <<llanta verde>>. Este neumático crudo es la llanta antes de la vulcanización.

▪ **Vulcanización.**

Todos los componentes de la llanta se unen para formar la llanta verde o cruda. Ésta se lleva al molde de vulcanización y se coloca sobre una bolsa inflable de vulcanizado. La bolsa se infla para expandir la llanta y que ésta tome forma dentro del molde. La presión comprime la llanta verde forzándola a tomar la forma del molde. Este molde conformará el diseño de la banda de rodamiento. Durante el proceso de vulcanización, la prensa aplica calor y presión para mejorar la resistencia y elasticidad de los compuestos del caucho. La llanta después de salir de la prensa de vulcanización es inflada a presiones especificadas con el objeto de que al enfriarse no pierda sus dimensiones especificadas.

▪ **Acabado Final e Inspección.**

La llanta ahora está lista para el acabado final y la inspección. La llanta pasa por un departamento de desvirado, donde se le quitan los excedentes de caucho que en el momento de la vulcanización tuvieron la función de fugas de aire.

La llanta acabada se examina manualmente y posteriormente pasa por un optimizador de uniformidad de llantas para determinar el punto alto de la llanta o punto de balanceado. Este punto se marca para que ajuste



bien el montaje con el rin. Después de la inspección, la llanta nueva se lleva al almacén y posteriormente al centro de distribución.

2.2.1.4. Partes de un neumático.

- **La Carcasa.**

La carcasa o armazón debe resistir la presión del aire, peso del vehículo e irregularidades del camino. La carcasa está compuesta por capas, formadas por cuerdas que pueden ser de Rayón, Nylon o Acero, revestidos por compuestos de caucho para dar adhesión y evitar frotamiento interno.

El peso es un factor importante en la construcción de la carcasa. Cuanto más pesada sea una llanta, mayor será el potencial para generar calor cuando se encuentre operando.

- **Costados.**

Son las paredes laterales de la carcasa cubiertas por compuestos de caucho con una alta resistencia a la fatiga por flexión.

- **Sellante.**

El sellante es el revestimiento de la carcasa en la parte interna de la llanta y su función es la retención de aire. El sellante se fabrica de un caucho llamado butilo halogenado, cuya característica es que no se permea el aire.

- **Talón.**

El talón une la llanta al rin. Está formada por alambres de acero revestidos de cobre para evitar la oxidación, aislados individualmente por compuestos de caucho para evitar la fricción. Su función es la de



anclar la llanta en el rin y debe tener alta resistencia a la ruptura. El relleno del talón es un compuesto de caucho duro, usado para soportar los rigores del montaje de la llanta.

- **Banda de rodamiento.**

La banda de rodamiento está compuesta por las ranuras, los hombros y los cinturones estabilizadores. Las Ranuras son diseñadas para evitar deslizamientos laterales, escurrir el agua, residuos, enfriar la llanta y generar tracción. Además debe tener en cuenta la ausencia de emisión de ruidos provocados por la canalización de aire; por eso siempre son asimétricas. En el diseño de los hombros se debe tener en cuenta la flexión de los costados y dar como resultado un perfecto asentimiento de la banda de rodamiento sobre el pavimento. Además se debe tener en cuenta las transferencias de peso en las curvas. Los cinturones estabilizadores tienen como función principal proveer estabilidad y uniformidad a la banda de rodamiento a altas velocidades, lo cual contribuye a la resistencia, al desgaste, a la tracción y el manejo de la llanta. El material usado comúnmente en los cinturones estabilizadores es el acero, pues provee fortaleza y estabilidad a la banda de rodamiento sin sumar mucho peso a la llanta.

- **Estrías.**

Diseñadas para aumentar la refrigeración o enfriamiento de la llanta y contribuir en su capacidad de tracción.

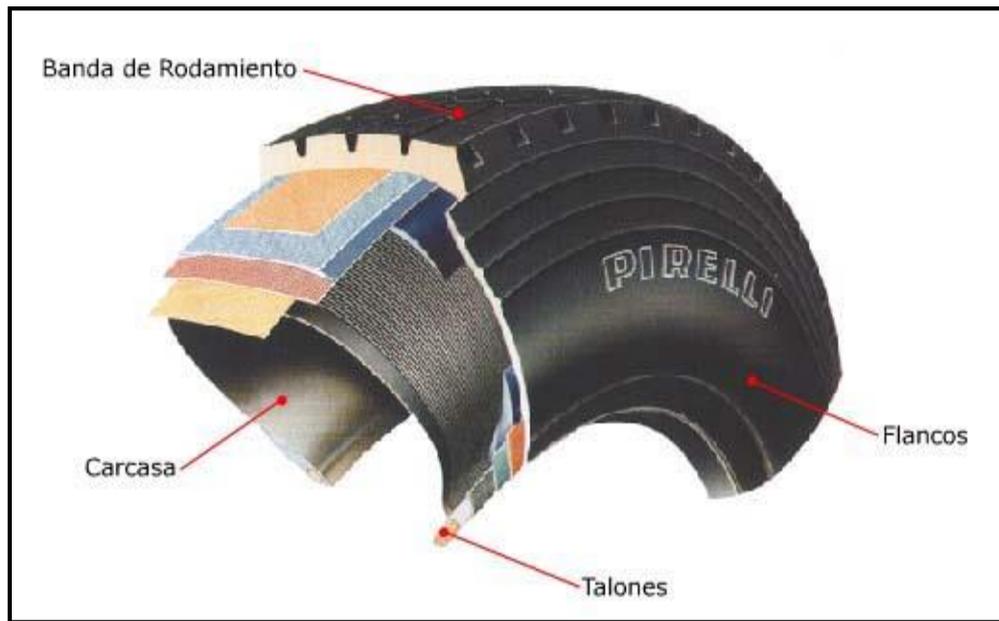


Figura 2.21. Partes de un neumático.

Fuente: Mecánica del automóvil actual/ Jesús Calvo Martín.

2.2.2. Caucho natural

❖ Generalidades

Sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en numerosas plantas. El caucho sintético se prepara a partir de hidrocarburos insaturados. En estado natural, el caucho aparece en forma de suspensión coloidal en el látex de plantas productoras de caucho. Una de estas plantas es el árbol de la especie *Hevea Brasiliensis*, de la familia de las Euforbiáceas, originario del Amazonas.

Donde su proceso de industrialización se mostrara en la Fig. 2.22.



❖ **Composición química del caucho**

El caucho bruto en estado natural es un hidrocarburo blanco o incoloro. El compuesto de caucho más simple es el isopreno o 2-metilbutadieno, cuya fórmula química es C_5H_8 . A la temperatura del aire líquido, alrededor de $-195\text{ }^\circ\text{C}$, el caucho puro es un sólido duro y transparente. De 0 a $10\text{ }^\circ\text{C}$ es frágil y opaco, y por encima de $20\text{ }^\circ\text{C}$ se vuelve blando, flexible y translúcido. Al amasarlo mecánicamente, o al calentarlo por encima de $50\text{ }^\circ\text{C}$, el caucho adquiere una textura de plástico pegajoso. A temperaturas de $200\text{ }^\circ\text{C}$ o superiores se descompone. El caucho puro es insoluble en agua, álcali o ácidos débiles, y soluble en benceno, petróleo, hidrocarburos clorados y di sulfuro de carbono. Con agentes oxidantes químicos se oxida rápidamente, pero con el oxígeno de la atmósfera lo hace lentamente.

❖ **Su obtención**

El caucho se obtiene del árbol por medio de un tratamiento sistemático de "sangrado", que consiste en hacer un corte en forma de ángulo a través de la corteza profundizando hasta el cambium. Una pequeña vasija que cuelga en el tronco del árbol para recoger el látex, jugo lechoso que fluye lentamente de la herida del árbol. El caucho en bruto obtenido de otras plantas suele estar contaminado por una mezcla de resinas que deben extraerse para que el caucho sea apto para el consumo. Entre estos cauchos se encuentran la gutapercha y la balata, que se extraen de ciertos árboles tropicales. El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se

encuentra en numerosas plantas. El caucho sintético se prepara a partir de hidrocarburos insaturados.



Figura 2.22. Proceso de sangrado por el cual se obtiene el látex.

Fuente: Materiales y procesos de materiales/ Paúl DeGarmo

❖ **Propiedades físicas**

- A bajas temperaturas, se vuelve rígido, y cuando se congela en estado de extensión adquiere estructura fibrosa.
- Calentando a más de 100 °C., se ablanda y sufre alteraciones permanentes.
- El caucho bruto adquiere gran deformación permanente debido a su naturaleza plástica.
- La plasticidad del caucho varía de un árbol a otro y también depende de la cantidad de trabajo dado al caucho desde el estado látex, de las bacterias que lo acompañan e influyen en su oxidación y de otros



factores. La plasticidad puede modificarse dentro de ciertos límites por la acción de productos químicos.

- La densidad del caucho a 0 °C. es de 0.950 a 20 °C. es de 0.934. El caucho bruto deshelado después de la masticación por cilindros fríos no varía de densidad.
- Cuando el caucho bruto ha sido estirado y deformado durante algún tiempo, no vuelve completamente a su estado original.
- Si se calienta, la recuperación es mayor que a la temperatura ordinaria. Este fenómeno se denomina deformación residual o estiramiento permanente y es propio del caucho.
- El caucho bruto absorbe agua. Los coagulantes usados en el látex al preparar el caucho afectan al grado de absorción de agua; usando ácido clorhídrico, sulfúrico o alumbre se obtienen cauchos con poder de absorción relativamente elevado. El poder de absorción de agua del caucho purificado es muy bajo.
- Gran variedad de sustancias son solubles o pueden dispersarse en caucho bruto, tales como el azufre, colorantes, ácido esteárico, N-fenil-2-naftilamina, pigmentos, aceites, resinas, ceras, negro de carbono y otras.
- El efecto deteriorante de luz y el calor sobre el caucho se reconoció largo antes del descubrimiento de la vulcanización.

❖ **Propiedades químicas**

- La solubilidad del caucho bruto en sus disolventes más comunes no es muy elevada. Para hacer una solución de 10% es necesaria cierta



disociación, ya por medios químicos, empleando un oxidante, ya por medio físicos, utilizando un molino.

- Los disolventes más usados son el benceno y la nafta. Otros buenos disolventes son el tricloroetileno, tetracloroetano, pentacloroetano, tetracloruro de carbono, cloroformo, tolueno, xileno, keroseno y éter. El caucho se hincha primero poco a poco hasta las consistencias de gel y después éste se dispersa formando una solución. El caucho bruto aumenta de 10 a 40 veces su propio peso en disolventes que a la temperatura ordinaria forman gel con el caucho.
- La viscosidad de la solución del caucho bruto es grande. El caucho bruto calentado hasta 200 °C. se ablanda y sus soluciones tienen menor viscosidad, pero el número de dobles enlaces se conserva sin alteración.
- Cuando la temperatura se eleva hasta 250 °C., los enlaces dobles se separan y tiene lugar la formación de anillos. El cambio a caucho cíclico eleva la densidad y la solubilidad, el producto obtenido es una dura y frágil resina.

❖ **Usos**

Actualmente se fabrican miles de artículos de caucho para usos muy diferentes. El caucho es ampliamente utilizado en la fabricación de neumáticos, llantas, artículos impermeables y aislantes, por sus excelentes propiedades de elasticidad y resistencia ante los ácidos y las sustancias alcalinas. Es repelente al agua, aislante de la temperatura y de la electricidad. Se disuelve con facilidad ante



petróleos, bencenos y algunos hidrocarburos. Actualmente más de la mitad del caucho usado hoy en día es sintético, pero aún se producen varios millones de toneladas de caucho natural anualmente. Desde 1823 se utiliza el caucho como material para fabricar prendas de vestir, quizás sobre la base que este tipo de ropa se forma una "segunda piel". El caucho hipoalergénico puede producirse a partir de guayule. El caucho es una propuesta para el futuro como aislante en la industria motora. Las fuentes principales del caucho puro son las láminas y planchas del látex de las plantaciones del árbol Hevea, además del látex no coagulado empleado en algunas industrias. El caucho reciclado, calentado con álcali durante 12 o 30 horas, puede emplearse como adulterante del caucho crudo para rebajar el precio final del producto. La cantidad de caucho reciclado que se puede utilizar dependerá de la calidad del artículo que se quiera fabricar.

Comparado con el caucho vulcanizado, el caucho no tratado tiene muy pocas aplicaciones. Se usa en cementos, cintas aislantes, cintas adhesivas y como aislante para mantas y zapatos. El caucho vulcanizado tiene otras muchas aplicaciones. *Por su resistencia a la abrasión*, el caucho blando se utiliza en los dibujos de los neumáticos de los automóviles y en las cintas transportadoras; *el caucho duro* se emplea para fabricar carcasas de equipos de bombeo y las tuberías utilizadas para perforaciones con lodos abrasivos. *Por su flexibilidad*, se utiliza frecuentemente para fabricar mangueras, neumáticos y rodillos para una amplia variedad de máquinas, desde los rodillos para



escurrir la ropa hasta los instalados en las rotativas e imprentas. *Por su elasticidad* se usa en varios tipos de amortiguadores y mecanismos de las carcasas de máquinas para reducir las vibraciones. Al ser *relativamente impermeable* a los gases se emplea para fabricar mangueras de aire, globos y colchones. *Su resistencia al agua y a la mayoría de los productos químicos líquidos* se aprovecha para fabricar ropa impermeable, trajes de buceo, tubos para química y medicina, revestimientos de tanques de almacenamiento, máquinas procesadoras y vagones aljibes para trenes. *Por su resistencia a la electricidad* el caucho blando se utiliza en materiales aislantes, guantes protectores, zapatos y mantas, y el caucho duro se usa para las carcasas de teléfonos, piezas de aparatos de radio, medidores y otros instrumentos eléctricos. *El coeficiente de rozamiento del caucho, alto en superficies secas y bajo en superficies húmedas*, se aprovecha para correas de transmisión y cojinetes lubricados con agua en bombas para pozos profundos.

❖ **Vulcanización**

La vulcanización es un proceso mediante el cual se calienta el caucho crudo en presencia de azufre, con el fin de volverlo más duro y resistente al frío. Durante la vulcanización, los polímeros lineales paralelos cercanos constituyen puentes de entrecruzamiento entre sí. El resultado final es que las moléculas elásticas de caucho quedan unidas entre sí a una mayor o menor extensión. Esto forma un caucho más estable, duro, con mayor durabilidad, más resistente al ataque



químico y sin perder la elasticidad natural. También transforma la superficie pegajosa del material en una superficie suave que no se adhiere al metal o a los sustratos plásticos

La vulcanización es un proceso de cura irreversible y debe ser fuertemente contrastado con los procesos termoplásticos que caracterizan el comportamiento de la vasta mayoría de los polímeros modernos. Este proceso irreversible define a los cauchos curados como materiales termorígidos (no se funden con el calor) y los saca de la categoría de los termoplásticos (como el polietileno y el polipropileno).

Usualmente el entrecruzamiento químico es realizado con azufre, pero existen otras tecnologías como los sistemas basados en peróxidos. Se suelen usar combinadamente con agentes aceleradores y retardadores.

Vulcanizar el caucho es el tratamiento por medio del que se combina con azufre y otros compuestos. Bajo la acción del calor apropiado junto con el azufre, y a veces de la luz, el caucho sufre profundas modificaciones, las cuales son motivo de especulación científica e industrial. Una lámina de caucho de 2 milímetros de espesor sumergida en un baño de azufre fundido a 120cc. se hincha ligeramente y la goma entra en combinación con el azufre produciéndose la vulcanización. Elevando la temperatura entre 1300° y 1400°C y manteniendo el tratamiento entre 30 y 40 minutos, el aspecto y las propiedades del caucho se modifican, la substancia toma un color gris amarillento, su



elasticidad aumenta considerablemente con la particularidad de que el frío no la anula como sucede con el caucho crudo. Este fenómeno conocido con el nombre de vulcanización, puede producirse a diversas temperaturas comprendidas entre el punto de fusión del azufre y los 160°C. La vulcanización se produce más rápidamente a esta última temperatura, pero la experiencia ha demostrado que los mejores resultados son los obtenidos cuando se vulcaniza a 120°C., lo que exige en cambio prolongar por más tiempo la operación.

Sí se prolonga la operación de vulcanizado elevando la cantidad de calor entre 150° y 160° por algunas horas entonces se obtiene un nuevo producto, en el cual la elasticidad ha desaparecido y el aspecto del caucho se ha modificado; se nos presenta ahora bajo una apariencia pardo oscura, en cierto grado quebradizo. El grado de vulcanización del caucho pende de varios factores, tales como el tiempo que dura el tratamiento, la temperatura, la presión y la cantidad de azufre agregado. Parece ser que el fenómeno de la vulcanización es el resultado de una verdadera combinación química en la que el caucho admite varios grados de combinación con el azufre hasta alcanzar la sobre saturación.

2.2.3. Caucho sintético

Puede llamarse caucho sintético a toda sustancia elaborada artificialmente que se parezca al caucho natural. Se obtiene por reacciones químicas conocidas como condensación o polimerización,



a partir de determinados hidrocarburos insaturados. Los compuestos básicos del caucho sintético llamados monómeros, tienen una masa molecular relativamente baja y forman moléculas gigantes denominadas polímeros. Después de su fabricación, el caucho sintético se vulcaniza.

❖ ***Tipos de caucho sintético***

Se producen varios tipos de caucho sintético: neopreno, buna, caucho de butilo y otros cauchos especiales.

▪ **Neopreno**

Uno de los primeros cauchos sintéticos logrados gracias a la investigación de Carothers fue el neopreno, el polímero del monómero cloropreno, de fórmula química $\text{CH}_2\text{-C}(\text{Cl})\text{CH}=\text{CH}_2$. Las materias primas del cloropreno son el etino y el ácido clorhídrico. Se emplea en tuberías de conducción de petróleo y como aislante para cables y maquinaria.

▪ **Buna o caucho artificial**

Químicos alemanes sintetizaron en 1935 el primero de una serie de cauchos sintéticos llamados Buna, obtenidos por copolimerización, que consiste en la polimerización de dos monómeros denominados comonómeros.

La palabra Buna se deriva de las letras iniciales de butadieno, uno de los comonómeros, y natrium (sodio), empleado como catalizador. En el Buna-N, el otro comonómero es el acrilonitrilo ($\text{CH}_2\text{-CH}(\text{CN})$), que se



produce a partir del ácido cianhídrico. El Buna-N es muy útil en aquellos casos que se requiere resistencia a la acción de aceites y a la abrasión.

- **Caucho de butilo**

Este tipo de caucho sintético, producido por primera vez en 1949, se obtiene por copolimerización de isobutileno con butadieno o isopreno. Es un plástico y puede trabajarse como el caucho natural, pero es difícil de vulcanizar. Aunque no es tan flexible como el caucho natural y otros sintéticos, es muy resistente a la oxidación y a la acción de productos corrosivos.

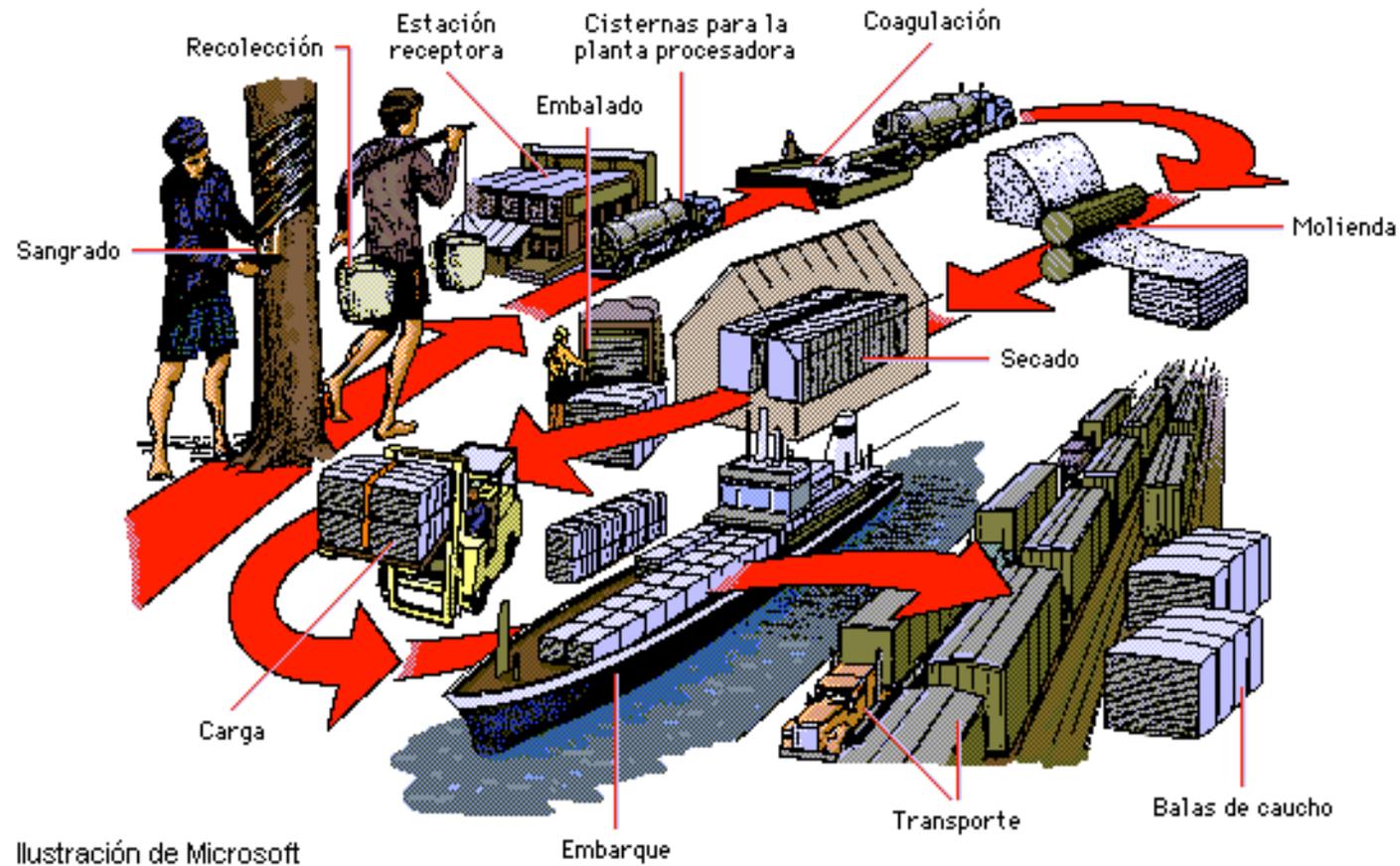


Figura 2.23. Proceso de industrialización del caucho.

Fuente: Afiche El Caucho-Natural y sintético.



2.3. RECICLAJE DE NEÚMATICOS

2.3.1. Métodos de reciclaje

En la actualidad se pueden utilizar diversos métodos para el reciclaje de neumáticos. A continuación se describirán algunos de ellos.

2.3.1.1. Termólisis

Se trata de un sistema en el que se somete a los materiales de residuos de neumáticos a un calentamiento en un medio en el que no existe oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tienen el efecto de destruir los enlaces químicos. Aparecen entonces cadenas de hidrocarburos. Es la forma de obtener, de nuevo, los compuestos originales del neumático, por lo que es el método que consigue la recuperación total de los componentes del neumático. Se obtienen metales, carbones e hidrocarburos gaseosos, que pueden volver a las cadenas industriales, ya sea de producción de neumáticos u a otras actividades.

2.3.1.2. Pirolisis

Aún está poco extendido, debido a problemas de separación de compuestos carbonados que ya están siendo superados. Según los datos de la empresa Chemysis S.A. este procedimiento (fabrica piloto) está operando en Taiwán desde 2002 con cuatro líneas de pirolisis que permiten reciclar 9000 toneladas / año. En la actualidad el procedimiento ha sido mejorado y es capaz de tratar



28.000 toneladas de neumáticos usados/año, a través de una sola línea.

Los productos obtenidos después del proceso de pirolisis son principalmente: GAS similar al propano que se puede emplear para uso industrial y aceite industrial líquido que puede refinar en Diesel.

2.3.1.3. Incineración

Proceso por el que se produce la combustión de los materiales orgánicos del neumático a altas temperaturas en hornos con materiales refractarios de alta calidad. Es un proceso costoso y además presenta el inconveniente de la diferente velocidad de combustión de los diferentes componentes y la necesidad de depuración de los residuos por lo que no resulta fácil de controlar y además es contaminante. Genera calor que puede ser usado como energía, ya que se trata de un proceso exotérmico. Con este método, los productos contaminantes que se producen en la combustión son muy perjudiciales para la salud humana, entre ellos el Monóxido de carbono, Xileno Hollín, Óxidos de nitrógeno y Dióxido de carbono.

2.3.1.4. Trituración criogénica

Este método necesita unas instalaciones muy complejas lo que hace que tampoco sean rentables económicamente y el mantenimiento de la maquinaria y del proceso es difícil. La baja calidad de los productos obtenidos y la dificultad material y económica para purificar y separar el caucho y el metal entre sí y

de los materiales textiles que forman el neumático, provoca que este sistema sea poco recomendable.

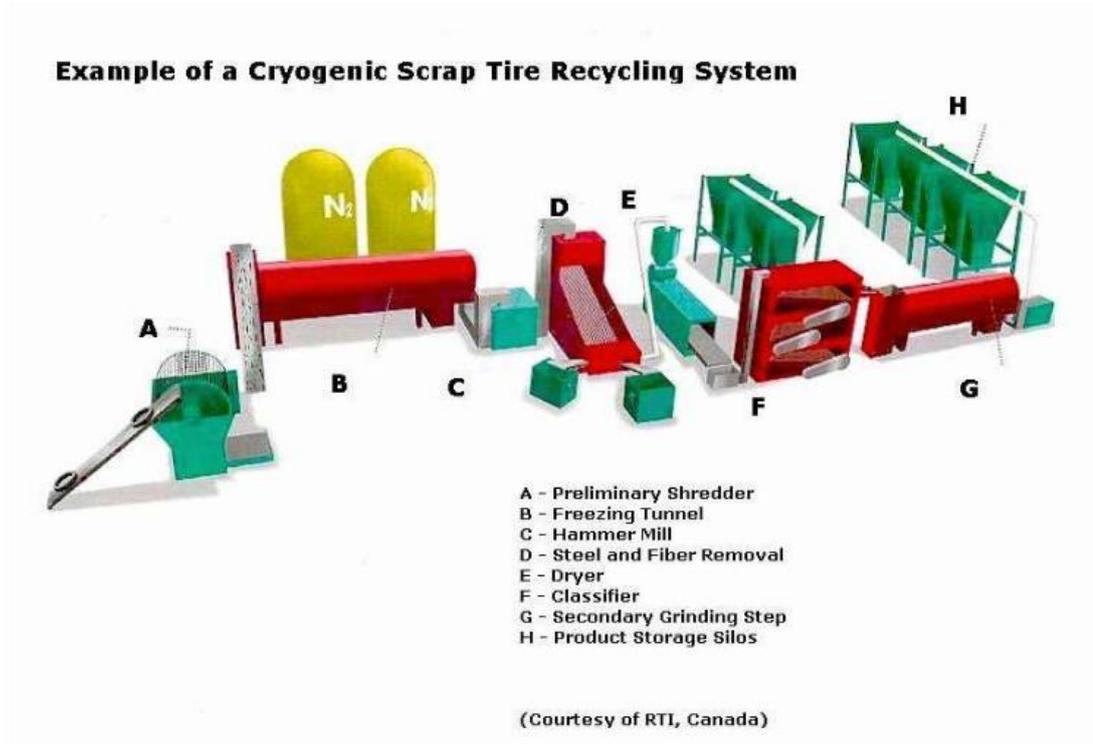


Figura 2.24. Etapas del proceso de trituración criogénica.

Fuente: Altreifen Recycling.

2.3.1.5. Trituración mecánica

Es un proceso puramente mecánico y por tanto los productos resultantes son de alta calidad limpios de todo tipo de impurezas, lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. La trituración con sistemas mecánicos es, casi siempre, el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de neumáticos.

Example of an Ambient Scrap Tire Recycling System

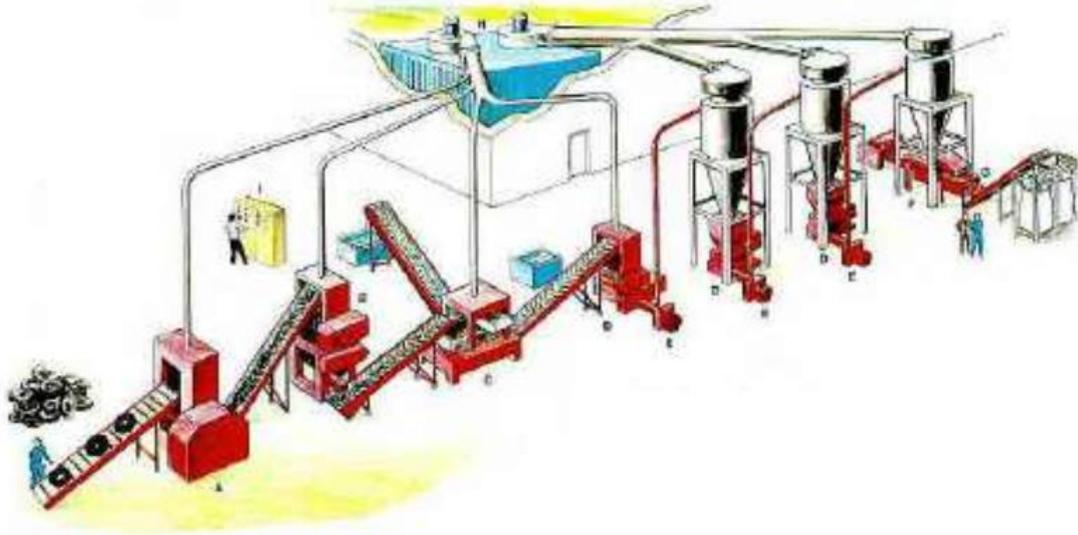


Figura 2.25. Etapas del proceso de trituración mecánica.

Fuente: Altreifen Recycling.

2.3.1.6. Neumáticos convertidos en energía eléctrica

Los residuos de neumáticos una vez preparados, puede convertirse también en energía eléctrica utilizable en la propia planta de reciclaje o conducirse a otras instalaciones distribuidoras. Los residuos se introducen en una caldera donde se realiza su combustión. El calor liberado provoca que el agua existente en la caldera se convierta en vapor de alta temperatura y alta presión que se conduce hasta una turbina. Al expandirse mueve la turbina y el generador acoplado a ella producirá la electricidad, que tendrá que ser transformada posteriormente para su uso directo.

2.3.1.7. Plantas de reciclaje

Montar una planta de reciclaje de neumáticos es un proceso complicado y muchos veces largos. Los objetivos de ganancias



sobre la inversión generalmente exigen utilizar equipos de reciclado de neumáticos de primera calidad.

2.3.1.8. Estudio de viabilidad

El primer paso es evaluar la viabilidad. Cada proyecto es único y está sujeto a varios factores como por ejemplo:

- Sistema colector de neumáticos
- Requisitos legales y de licencia
- Financiamiento y disponibilidad de subvenciones
- Demanda de materia prima reciclada y de productos acabados de caucho en el mercado.

2.3.1.9. Proceso de reciclaje de neumáticos

❖ Desmenuzamiento

Los neumáticos de autos y camiones se desmenuzan hasta un tamaño aceptable para la zona de trituración principal. Unos pulverizadores de agua lubrican, limpian y mantienen el polvo a las mínimas cantidades en el desmenuzador. La reparación y el mantenimiento de las cuchillas del desmenuzador pueden efectuarse en buenas condiciones de trabajo.

❖ Zona de trituración principal

Los recortes de neumático se Trituran entre las herramientas del rotor dentado y el estator. Los recortes contienen alambre de acero, que acelera el proceso de trituración. Esta máquina única convierte



los recortes en una gran gama de polvo fino y gránulos de modo económico y sin constituir un peligro para el medio ambiente. Una vez finalizada la etapa de trituración principal se habrá eliminado más del 95% del alambre de acero presente en los recortes.

❖ **Granulación**

Las partículas gruesas de caucho son conducidas al granulador. El desgaste de las cuchillas del granulador y de las cribas es relativamente bajo, ya que más del 95% del alambre de acero de los recortes se eliminó en el paso anterior.

❖ **Trituración secundaria**

La zona de trituración secundaria consta de uno o más sistemas de prensa a rotor. La prensa funciona a gran velocidad con el fin de reducir de modo efectivo el tamaño de las partículas flexibles de caucho. En esta etapa se separa toda la fibra residual.

❖ **Tamizado y limpieza**

Durante todo el proceso las partículas de caucho son tamizadas y clasificadas por diferentes tamaños, listas para la siguiente operación de producción o para el almacenamiento en silos. Los contaminantes tales como cuerda de fibra, polvo, acero, partículas no ferrosas y suciedad que se liberan durante los diversos procesos de trituración y granulación se separan mediante dispositivos que funcionan por gravedad y circulación de aire. Esto garantiza un producto final de gran calidad.

2.3.1.10. Esquema del proceso de reciclaje

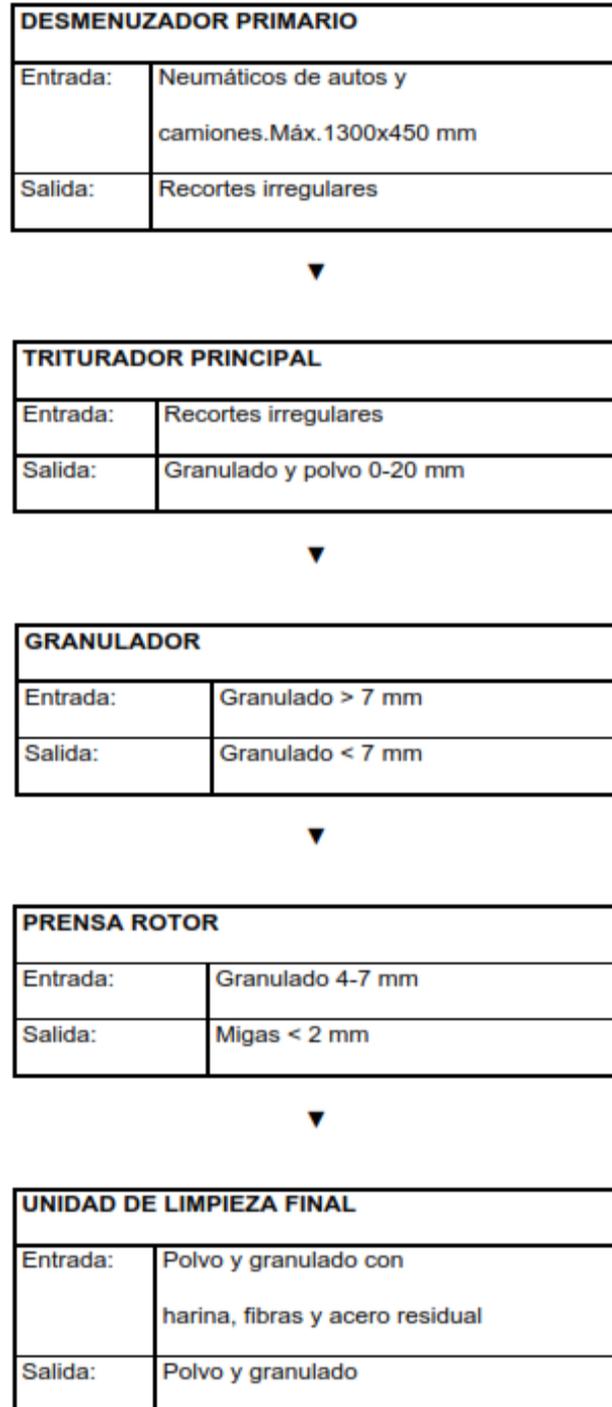


Figura 2.26. Esquema del proceso de reciclaje

Fuente: Altreifen Recycling

(a)



(b)



Figura 2.27. a) caucho granulado color negro. b) caucho granulado de color verde con recubrimiento de poliuretano

Fuente: Mülsener Recycling und Handelsgesellschaft mbH.



Figura 2.28. Máquina granuladora Jamach.

Fuente: Van Aarsen Rubber Technology.



Figura 2.29. Máquina Jmach de 5 toneladas métricas por hora de capacidad de entrada.

Fuente: Van Aarsen Rubber Technology.

2.3.2. Aplicaciones del caucho de neumáticos

El polvo y los gránulos del caucho procedente de neumáticos pueden utilizarse para muchas aplicaciones. En la mayoría de casos los gránulos y el polvo del caucho procedente de neumáticos también producen productos finales a partir de migas de caucho, como por ejemplo losetas de caucho.

Aplicaciones para la calle y el asfalto:

- Sellador de hormigón.
- Barreras acústicas.
- Base de caminos.
- Betún modificado con caucho.
- Betún de mezcla caliente.

- Topes de velocidad.
- Pasos de nivel.

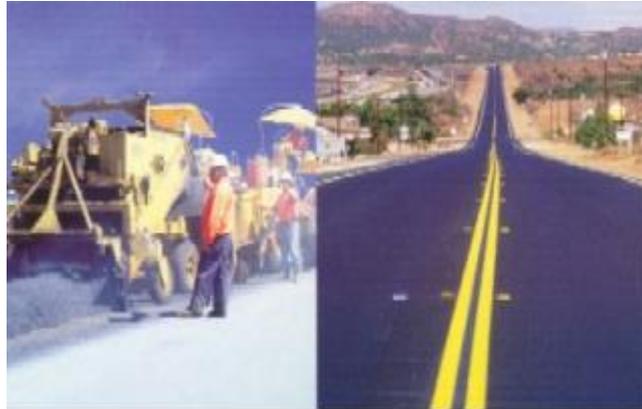


Figura 2.30. Aplicación del caucho en asfaltos

Fuente: Van Aarsen Rubber Technology.

Ocio:

- Base ecuestre al aire libre.
- Losetas de caucho de campos de juegos para niños.
- Rectificaciones del suelo.
- Productos para el hogar y el jardín.

Animales:

- Revestimiento para el suelo de granjas de ganado.
- Hipódromos y pistas de entrenamiento hípico.
- Cubiertas retenedoras de humedad.

Construcción y edificios:

- Ripias para tejados.
- Betún modificado con caucho.
- Aislamiento sonoro.
- Arpilleras para alfombras.



- Material para cimientos.
- Amortiguadores de golpes y almohadillas de montaje.

Industria:

- Revestimientos, pintura.
- Neumáticos sólidos para recipientes de desechos, etc.
- Mangueras de riego.
- Aglutinantes de aceite.
- Materiales de rozamiento.
- Relleno para nuevos compuestos de caucho y de plástico.
- Suelas de zapato.

Automoción:

- Almohadillas de freno.
- Neumáticos recauchutados.
- Guardabarros.
- Alfombrillas.
- Parachoques de remolques.
- Cubiertas de pedales.
- Relleno en la fabricación de neumáticos nuevos (3-5%).

Superficies deportivas:

- Base para césped artificial (fútbol, hockey, beisbol).
- Pistas para correr en todo tiempo.
- Canchas de tenis.
- Losetas de caucho para salas de fitness.



2.4. ETABS V.15, COMPUTERS AND STRUCTURES INC. (CSI)

2.4.1. Introducción

ETABS es un producto de software de ingeniería que abastece a los análisis de edificio de varios pisos y el diseño. Herramientas y plantillas, recetas de carga basados en códigos, métodos de análisis y técnicas de solución de modelado, todos coordinará con la geometría de rejilla única para este tipo de estructura. Sistemas básicos o avanzados en condiciones estáticas o dinámicas pueden ser evaluados usando ETABS. Para una evaluación sofisticada de comportamiento sísmico, modal y la integración directa de tiempo de la historia análisis pareja puede con P-Delta y efectos de gran cilindrada. Enlaces no lineales y GFM o fibra bisagras concentradas pueden capturar material de no linealidad bajo la conducta monótona o histéresis. Características intuitivas e integradas hacen aplicaciones de cualquier complejidad práctica de implementar. Interoperabilidad con una serie de diseño y documentación plataformas hace que ETABS una herramienta coordinada y productiva para los diseños que van desde cuadros 2D simples para elaborar los rascacielos modernos.

2.4.2. Modelado de Sistemas Estructurales

Es fundamental para el modelado ETABS es la generalización de que los edificios de varios pisos por lo general consisten en planos idénticos o similares que se repiten en la dirección vertical. Modelado de características que agilizan analítico-modelo de la generación, y



simulan sistemas sísmicos avanzados, están en la lista de la siguiente manera:

- ✓ Plantillas para sistema global y de modelos local-elemento.
- ✓ Geometría de la sección personalizada y la conducta constitutiva.
- ✓ Agrupación de marco y de concha objetos.
- ✓ Enlace asignación para aisladores de modelado, amortiguadores y otros sistemas sísmicos avanzados.
- ✓ No Lineal bisagra especificación.
- ✓ Automático de engrane con opciones manuales.
- ✓ Edición y asignación de funciones para planta, alzado y vistas en 3D.

2.4.3. Análisis y diseño

Una vez modelado es completa, ETABS genera automáticamente y asigna las condiciones de carga basados en códigos de gravedad, sísmica, el viento y las fuerzas térmicas. Los usuarios pueden especificar un número ilimitado de carga de los casos y combinaciones. Capacidades de análisis a continuación ofrecen métodos no lineales avanzados para la caracterización de la electricidad estática presa fácil y la respuesta dinámica. Consideraciones dinámicas pueden incluir modal, la respuesta de espectro, o tiempo-historia análisis. Cuenta el efecto P-delta para la no linealidad geométrica.



Dada la especificación envolvente, características de diseño serán automáticamente elementos y sistemas tamaño, esquemas de diseño de refuerzo, y de otra manera de optimizar la estructura de acuerdo con las medidas de rendimiento deseados. En la figura 2.31 se muestra un modelamiento estructural de una edificación con el programa.

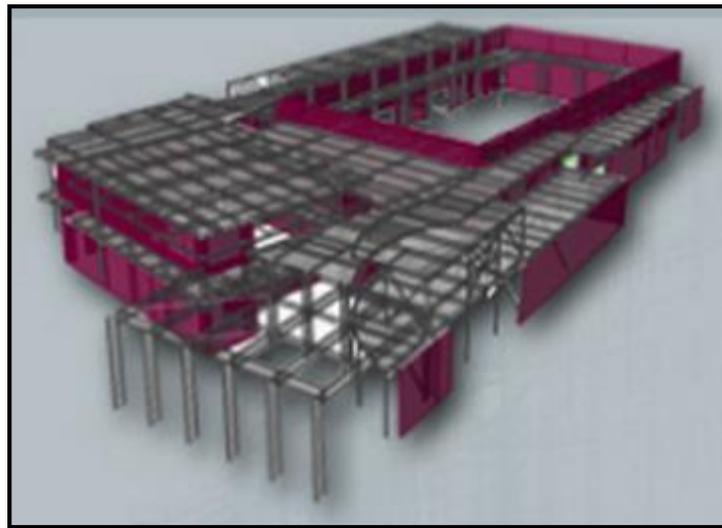


Figura 2.31. Modelamiento con el programa Etabs.

Fuente: CSI-KNOWLEDGE BASE

2.4.4. Salida, interoperabilidad y versatilidad

Los formatos de salida y visualización son también prácticos e intuitivos. Momento de corte, de la fuerza axial y diagramas, presentados en vistas 2D y 3D con conjuntos de datos correspondientes, pueden ser organizados en informes personalizables. También están disponibles sección cortes detallados que muestran diversas medidas de respuesta locales. Perspectivas globales que representan configuraciones desplazados estáticas o animaciones de vídeo de respuesta en tiempo-historia están disponibles también.



ETABS también cuenta con la interoperabilidad con los productos de software relacionados, proporcionando para la importación de modelos arquitectónicos de diversos software de dibujo técnico, o exportar a diferentes plataformas y formatos de archivo. SAFE, el piso y losa de cimentación de software de diseño con postesado (PT) la capacidad, es una de esas opciones para la exportación. CSI coordinó seguro para ser utilizado en conjunto con ETABS tal que los ingenieros podían más a fondo los detalles, analizar y diseñar los niveles individuales de un modelo ETABS.

Mientras ETABS ofrece una variedad de capacidades sofisticadas, el software es igualmente útil para el diseño de sistemas básicos. ETABS es la opción práctica para todas las aplicaciones de rejilla que van desde cuadros 2D simples a los más complejos edificios altos. En la figura 2.32 se muestra los resultados de diseño con el programa.

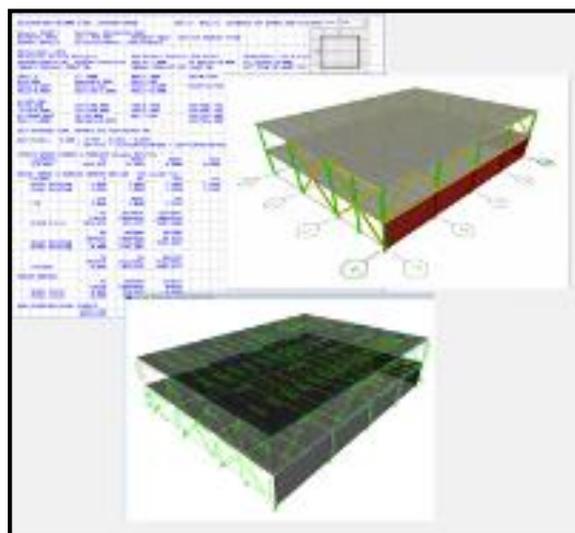


Figura 2.32. Resultados por defecto para el diseño

Fuente: CSI-KNOWLEDGE BASE



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS



CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Pruebas para controlar la calidad de los agregados

3.1.1. Práctica Estándar para reducción de las Muestras De Agregado al Tamaño de Prueba: (ASTM C-702)

Introducción.

Esta práctica describe los métodos para la reducción de muestras de agregado al tamaño apropiado para la prueba empleando técnicas que están encaminadas a minimizar las variaciones en características medibles entre la muestra seleccionada para ensayo y la muestra total. Las especificaciones para agregados requieren el muestreo de material para ensayo.

Otros factores tales como muestras más grandes, tienden a ser más representativas de la muestra total. Esta práctica proporciona procedimientos para reducir la muestra total obtenida en el campo o producidas en el laboratorio al tamaño conveniente para realizar un número de ensayos para describir el material y medir su calidad de tal manera que la porción de la muestra más pequeña sea representativa de la muestra total suministrada. La falla en el seguimiento cuidadoso de los procedimientos en esta práctica puede resultar en suministrar una muestra no representativa que será usada en ensayos subsecuentes. Los métodos de prueba individuales proporcionan una mínima cantidad de material a ser ensayado.



Bajo ciertas circunstancias, la reducción en tamaño de una muestra previo al ensayo no es recomendada. Diferencias sustanciales en la muestra de prueba seleccionada pueden suscitarse sin advertirse, como por ejemplo en el caso de un agregado que relativamente tiene pocas partículas alargadas en la muestra. Las leyes de oportunidad dictan que esas pocas partículas pueden ser desigualmente distribuidas en medio de la muestra de ensayo de tamaño reducido. Similarmente, si la muestra de ensayo es examinada para ciertos contaminantes, se detectan como unos pocos y discretos fragmentos en solamente pequeños porcentajes.

Precaución: Debe ser usada en la interpretación de los resultados de la muestra de ensayo de tamaño reducido. Hay posibilidad de inclusión o exclusión de una sola o dos partículas en la muestra seleccionada para el ensayo y puede influenciar importantemente la interpretación de las características de la muestra original. En estos casos, la muestra original entera debe ser ensayada.

Selección del Método.

Agregado Fino - Reduzca el tamaño de las muestras de agregado fino que están en una condición saturada superficialmente secas (Nota 1) por un partidor mecánico de acuerdo al Método A. Reduzca el tamaño de las muestras que tengan humedad libre en la superficie de las partículas por cuarteo de acuerdo al Método B, o tratado como un apilamiento miniatura, como se describe en el Método C.



Alternativamente, si la muestra húmeda es muy grande, se puede hacer una reducción preliminar usando un partidador mecánico, teniendo una abertura de conductos de 38 mm (1 ½ pulg) o mayor para reducir la muestra a no menos de 5000 g. Seque la porción así obtenida y reduzca la muestra a tamaño de prueba usando el Método A.

Nota 1 - El método para determinar la condición de saturado superficialmente seco esta descrito en el Método de Ensayo C 128. Como una aproximación rápida, si el agregado fino retiene su forma cuando es moldeado en la mano, puede considerarse que está más húmedo que la condición saturada superficialmente seco.

MÉTODO B: CUARTEO MANUAL

Equipo y Herramientas.

El equipo consistirán de una regla, un cucharón fondo plano y borde recto, pala o cuchara de albañil, una escoba o brocha, y una lona de aproximadamente 2 x 2.5 m (6 x 8 pies).

Procedimiento.

Coloque la muestra original sobre una superficie dura, limpia y nivelada en donde no se produzca pérdida de material ni adición accidental de material extraño. Mezcle el material completamente, traspaleando la muestra entera al menos tres veces. En el último traspaleo, forme con la muestra una pila cónica, depositando cada palada en la parte superior de la pila. Cuidadosamente aplane la pila cónica, presionando con una pala la parte superior del cono hasta obtener un espesor y diámetro uniforme, de tal forma que cada cuarto de la pila contenga el material que originalmente se encontraba en él. El diámetro deberá ser

aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor. Divida con una pala o cuchara, la masa aplanada, en cuatro partes iguales y remueva los cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino, cepillando los espacios vacíos para limpiarlo; mezcle y cuarteo sucesivamente el material restante hasta reducir la muestra.

A continuación se presenta en la figura 3.1 y 3.2 los pasos para cuarteo manual en superficie plana y de lona.

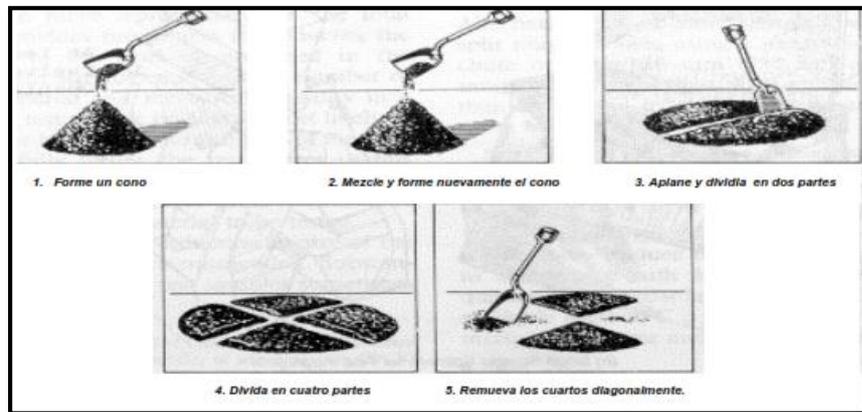


Figura 3.1 Pasos para cuarteo manual en superficie plana

Fuente: ASTM C-702.

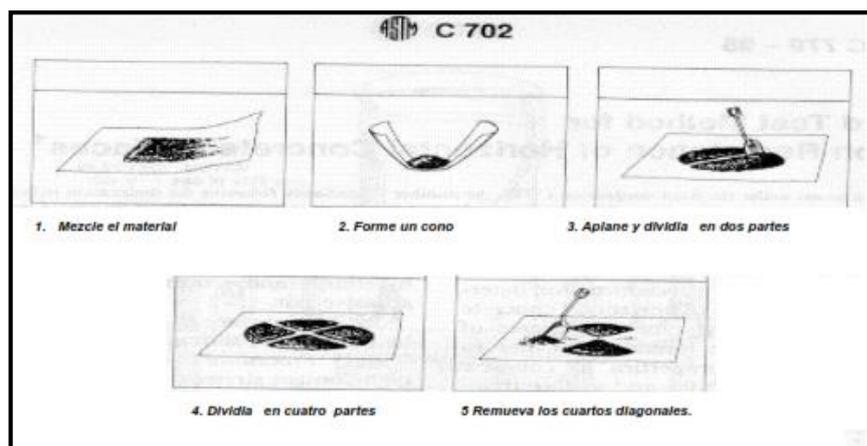


Figura 3.2. Pasos para el cuarteo manual sobre una lona.

Fuente: ASTM C-702.



3.1.2. Método de Ensayo Estándar para Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado: (ASTM C-566)

Introducción.

Este método de ensayo cubre la determinación del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado por secado, la humedad superficial y la humedad en los poros del agregado. Algunos agregados pueden contener agua que está químicamente combinada con los minerales en el agregado. Dicha agua no es evaporable y no está incluida en el porcentaje determinado por este método de ensayo.

Este método de ensayo es suficientemente exacto para propósitos usuales, tales como ajuste en peso de las cantidades de materiales en una revoltura de concreto. Este generalmente mide la humedad en la muestra de ensayo, determinando la que existe en el agregado suministrado. En casos donde el agregado es alterado por calor o donde se requieran medidas más refinadas, el ensayo puede ser dirigido usando un horno de temperatura controlada.

Partículas grandes de agregado grueso, especialmente aquellos más grandes que 50 mm requerirán mayor tiempo para que la humedad viaje del interior de la partícula a la superficie. El uso de este método de ensayo será determinado por tentativas. El método de secado rápido proporciona suficiente exactitud para el uso pretendido.



Material y Equipo

- ✓ Balanza -Una balanza o báscula exacta, legible y sensitiva con 0.1 % de la carga de ensayo en cualquier punto con el rango de uso. Dentro de un intervalo igual al 10 % de la capacidad del dispositivo pesado, la indicación de carga deberá tener una exactitud con 0.1 % de la diferencia en peso.
- ✓ Horno.
- ✓ Recipiente para la muestra.
- ✓ Agitador (Una cuchara metálica o espátula de tamaño conveniente.)

Muestreo

Asegúrese que el contenido de humedad de la muestra de agregado a ensayar sea representativo de la que tiene el material en el sitio, teniendo una masa no menos que la cantidad listada en la Tabla 3.1. Proteja la muestra contra la pérdida de humedad antes de determinar la masa.



Tabla 3.1. Tamaño de Muestra para Agregado Grueso

Tamaño Máximo Nominal del Agregado mm (pulg.)	Masa de Peso Normal Muestra de Agregado min. Kg.
4.75 (0.187) (No. 4)	0.5
9.5 (3/8")	1.5
12.5 (1/2")	2
19.0 (3/4")	3
25.0 (1")	4
37.5 (1 1/2")	6
50 (2")	8
63 (2 1/2")	10
75 (3")	13
90 (3 1/2")	16
100 (4")	25
150 (6")	30

Fuente: ASTM C-566



Procedimiento

1. Pese la muestra con una aproximación de 0.1 %
2. Seque la muestra completamente en el recipiente, por medio de la fuente de calor seleccionada, teniendo el cuidado de evitar la pérdida de alguna partícula. El calentamiento muy rápido puede causar que algunas partículas exploten, causando la pérdida de material. Use un horno de temperatura controlada cuando el calor excesivo pueda alterar las características del agregado, o cuando se requiere mayor precisión en la medida.

Cálculos.

Calcule el contenido de humedad total como sigue:

$$w\% = 100 \frac{m-d}{d} \quad (3.1)$$

Donde:

w = contenido de humedad de la muestra, (%)

m = masa de la muestra original, (g)

d = masa de la muestra seca, (g)

El contenido de humedad superficial es igual a la diferencia entre el contenido de humedad total y la absorción, con todos los valores basados en pesos secos. La absorción puede ser determinada de acuerdo con el Método de Ensayo C 127 o Método de Ensayo C 128.



3.1.3. Método de Ensayo Estándar para Análisis Granulométrico del Agregado Grueso y Fino: (NTP 400.012)

Introducción.

Este método de ensayo cubre la determinación de la distribución del tamaño de las partículas del agregado grueso y fino mediante tamizado.

Una muestra de agregado seco de masa conocida es separada a través de una serie de mallas de aberturas progresivamente menor para la determinación de los tamaños de las partículas.

Este método de ensayo es usado para determinar la graduación de materiales propuestos para usarse como agregado en distintos tipos de mezclas y para proporcionar información necesaria en el control de la producción de dichas mezclas.

Es frecuente representar la granulometría del agregado haciendo uso de gráficos, asignando en el eje de las abscisas los tamaños de las aberturas de los tamices, y en el eje de las ordenadas los porcentajes que pasan las correspondientes mallas.

Tamaño de tamices

Los tamices o mallas estándar para determinar la gradación de los agregados finos son:

No. 4, 8, 16, 30, 50 y 100.

Las cribas o mallas estándar para el análisis del agregado grueso son: 6", 3", 1 1/2", 3/4", 3/8" y No. 4; otros tamaños de tamices que se utilizan para agregado grueso son: 2 1/2", 2", 1" y 1/2".



Material y equipo:

- ✓ Arena.
- ✓ Grava.
- ✓ Balanzas de 0.1 y 0.5 g de precisión.
- ✓ Juego de Mallas: 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No 4, No 8, No 16, No 30, No 50, No 100, No 200, fondo y tapa.
- ✓ Agitador de Mallas Mecánico
- ✓ Un horno a temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- ✓ Juego de pesas: 500 grs., 1, 2, 5 y 10 kg.
- ✓ Un brochuelo.
- ✓ Recipientes de aluminio.
- ✓ Un cucharón de Aluminio.
- ✓ Una brocha, etc.

➤ **Especificaciones para Agregado Fino:**

El tamaño de la muestra de ensayo, después de secado, debe ser 300 g como mínimo.

El Agregado fino tendrá una granulometría dentro de los límites prescritos en la norma ASTM C33; véase la siguiente Tabla 3.2:



Tabla 3.2. Límites de graduación del agregado fino.

GRADUACIÓN DEL AGREGADO FINO		
Abertura de Malla		Porcentaje que Pasa
(9.51 mm)	3/8"	100
(4,75 mm)	Nº 4	95-100
(2.36 mm)	Nº 8	80-100
(1.18 mm)	Nº 16	50-85
(600 µm)	Nº 30	10-30
(300 µm)	Nº 50	10-30
(150 µm)	Nº 100	2-10

Fuente: NTP 400.012

Los porcentajes mínimos mostrados en la tabla anterior para materiales que pasan las mallas Nº 50 y Nº 100, pueden reducirse a 5 y 0 respectivamente.

El agregado fino no tendrá más del 45% retenido entre dos mallas consecutivas de las indicadas en la tabla anterior.

➤ **Especificaciones para Agregado Grueso:**



**Figura 3.3. Tamices certificados de
abertura cuadrada.**

Fuente: ELE International.



El tamaño de la muestra de ensayo de agregado grueso será conforme a lo siguiente:

Tabla 3.3. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL, ABERTURAS CUADRADAS mm. (pulg.)		TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO, MÍNIMO Kg. (lb)
9.5	3/8"	1 (2)
12.5	1/2"	2 (4)
19.0	3/4"	5 (11)
25.0	1"	10 (22)
37.5	1 1/2"	15 (33)
50	2"	20 (44)
63	2 1/2"	35 (77)
75	3"	60 (130)
90	3 1/2"	100 (220)
100	4"	150 (330)
125	5"	300 (660)

Fuente: ASTM-C33

Los requisitos de la norma ASTM C33 para granulometría de agregados gruesos, permiten un amplio rango de granulometrías y una diversidad de tamaños granulométricos, como aparece a continuación.



Tabla 3.4. Requisito de granulometría para agregado grueso.

Tamaño nominal (mallas con aberturas cuadradas)	CANTIDADES MENORES QUE PASAN CADA MALLA DE LABORATORIO (ABERTURAS CUADRADAS), % EN PESO													
	100 mm 4"	90 mm 3.54"	75 mm 3"	63 mm 2.5"	50 mm 2"	37.5 mm 1.5"	25 mm 1"	19 mm 3/4"	12.5 mm 1/2"	9.5 mm 3/8"	4.75 mm No 4	2.36 mm No 8	1.18 mm No 16	
3.5 a 1.5 "	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	
2.5 a 1.5 "	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	
2 a 1 "	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	
2 " a No 4	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	
1.5 a 3/4 "	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	
1.5 a No 4	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	
1 a 1/2 "	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	
1 a 3/8 "	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	
1" a No 4	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	
3/4 " a 3/8 "	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	
3/4 " a No 4	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	25 a 55	0 a 10	0 a 5	-	
1/2 " a No 4	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	
3/8 " a No 8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	

Fuente: ASTM-C33



Procedimiento

1. Secar la muestra a peso constante a una temperatura de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.

NOTA 2: Para ensayos de control, particularmente cuando se deseen resultados rápidos no es necesario secar el agregado grueso para el análisis granulométrico. Los resultados son ligeramente afectados por el contenido de humedad a menos que: (1) el tamaño máximo nominal es menor que 12,5 mm (1/2 pulgadas); (2) el agregado grueso contenga apreciable cantidad de material más fino que 4,75 mm (Nº 4); ó (3) el agregado grueso es altamente absorbente (ejemplo un agregado ligero).

También las muestras pueden ser secadas a una temperatura alta utilizando planchas calientes sin afectar los resultados, manteniendo los escapes de vapor sin generación de presiones suficientes como para fracturar las partículas y, temperaturas que no sean mayores como para causar el rompimiento químico del agregado.

2. Se seleccionarán tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material a ser ensayado. El uso de tamices adicionales puede ser necesario para obtener otra información, tal como módulo de fineza o para regular la cantidad de material sobre un tamiz. Encajar los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de un aparato mecánico por un período suficiente, establecido por tanda o verificado por la medida de la muestra ensayada, para obtener los criterios de suficiencia o tamizado descritos en el apartado 1.4.
3. Limitar la cantidad de material sobre el tamiz utilizado de tal manera que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar la abertura del tamiz un número de veces durante la operación de tamizado. Para tamices con aberturas menores que 4,75 mm (Nº 4), la cantidad retenida



sobre alguna malla al completar el tamizado no excederá a 7 kg/m² de área superficial de tamizado.

NOTA 3. Para tamices con aberturas de 4,75 mm (Nº 4) y mayores, la cantidad retenida en kg no deberá sobrepasar el producto de 2,5 x(abertura del tamiz en mm x (área efectiva de tamizado, m²)). Esta cantidad se muestra en la Tabla 1 para 5 dimensiones de tamices de uso común. En ningún caso la cantidad retenida será mayor como para causar deformación permanente al tamiz.

- a. Prevenir una sobrecarga de material sobre un tamiz individual por uno de los siguientes procedimientos:
- b. Colocar un tamiz adicional con abertura intermedia entre el tamiz que va a ser sobrecargado y el tamiz inmediatamente superior en la disposición original de tamices.
- c. Separar la muestra en dos o más porciones, tamizando cada porción individual. Combinar las masas de cada porción retenidas sobre un tamiz especificado antes de calcular el porcentaje de la muestra sobre el tamiz.
- d. Utilizar tamices de mayor armazón que provean mayor área de tamizado.

NOTA 4: La cantidad de 7 kg/m² a 200 g para los diámetros usuales de tamiz de 203,2 mm (8 pulgadas) (con superficie efectiva de tamizado de 190,5 mm (7,5 pulgadas) de diámetro).

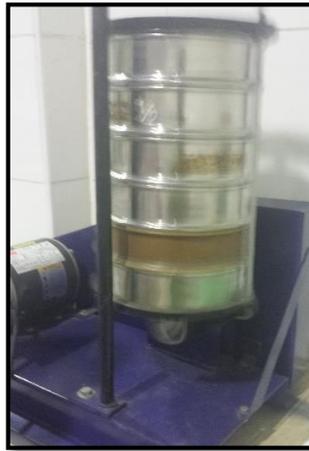


Figura 3.4. Tamizador mecánico

Fuente: Propia de los autores.

4. Continuar el tamizado por un período suficiente, de tal manera que al final no más del 1 % de la masa del residuo sobre uno de los tamices, pasará a través de él durante 1 min de tamizado manual como sigue:
Sostener firmemente el tamiz individual con su tapa y fondo bien ajustado en posición ligeramente inclinada en una mano. Golpear el filo contra el talón de la otra mano con un movimiento hacia arriba y a una velocidad de cerca de 150 veces por min, girando el tamiz un sexto de una revolución por cada 25 golpes. En la determinación de la eficacia del tamizado para medidas mayores de 4,75 mm (Nº 4), limitar a una capa simple de partículas sobre el tamiz. Si la medida del tamiz hace impracticable el movimiento de tamizado descrito, utilizar el tamiz de 203 mm de diámetro (8 pulgadas) para verificar la eficiencia del tamizado.
5. En el caso del agregado global, la porción de la muestra más fina que el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) puede ser distribuida entre dos o más juegos de tamices para prevenir la sobrecarga de los tamices individuales; con el fin de facilitar la acción del tamizado.



NOTA 5: En el caso que se requiera separar el agregado grueso del agregado fino, el material global se cortará por el tamiz de 3/8 pulgadas (9,5 mm).

- a. Alternativamente, la porción más fina que la malla de 4,75 mm (N^o 4), puede ser reducida utilizando un sacudidor mecánico de acuerdo con el método ASTM C702. Si se siguió este procedimiento, calcular la masa del incremento de cada medida de la muestra original como sigue:

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B \quad (3.2)$$

Donde:

A = masa del incremento de la medida sobre la base de la muestra total.

W = masa de la fracción más fina que la malla de 4,75 mm (N^o 4) en la muestra total.

W₁ = masa de la porción reducida de material más fino que la malla de 4,75 mm (N^o4) efectivamente tamizada.

B = masa del incremento en la porción reducida tamizada.

6. A no ser que se utilice un sacudidor mecánico, tamizar manualmente las partículas mayores que 75 mm (3 pulgadas) para la determinación de las aberturas menores de tamiz a través de las que cada partícula debe pasar. Empezar con el menor tamiz utilizado. Alternar las partículas, si es necesario, para determinar si pasarán a través de una abertura particular; de cualquier modo no fuerce las partículas a pasar a través del tamiz.
7. Determinar la masa de cada incremento de medida sobre una balanza conforme a los requerimientos especificados aproximando al 0,1 % más cercano de la masa total original de la muestra seca. La masa total de



material luego del tamizado deberá ser verificada con la masa de la muestra colocada sobre cada tamiz.

8. Si la muestra fue previamente ensayada por el método descrito en la NTP 400.018, adicionar la masa del material más fino que la malla de 75 μm (N°200) determinada por el método de tamizado seco.

Cálculo

1. Calcular el porcentaje que pasa, los porcentajes totales retenidos, o los porcentajes sobre cada tamiz, aproximando al 0,1% más cercano de la masa seca inicial de la muestra. Si la misma muestra fue primero ensayada por el método de ensayo que se describe en la NTP 400.018, incluir la masa de material más fino que la malla de 75 μm (N°200) calculada por el método de lavado y utilizar el total de la masa de la muestra seca previa al lavado descrito en el método de ensayo de la NTP 400.018, como base para calcular todos los porcentajes.
2. Cuando se ensayan incrementos de la muestra, como se indica en el apartado, se utilizará el total de la masa de la porción del incremento retenido en cada tamiz, para calcular los porcentajes que se mencionan en el apartado 2.
3. Cuando se requiera, calcular el módulo de fineza, sumando el porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (porcentaje acumulado retenido) y dividir la suma entre 100: 150 μm (N° 100); 300 μm (N° 50); 600 μm (N° 30); 1,18 mm (N° 16); 2,36 mm (N° 8); 4,75 mm (N° 4); 9,5 mm (3/8 de pulgada); 19,0 mm (3/4 de pulgada); 37,5 mm (1 1/2 pulgada) y mayores; incrementando en la relación 2 a 1.



3.1.4 Método de Prueba Normal para Resistencia al Desgaste de Agregado Grueso por Abrasión e Impacto en la Máquina de los Ángeles: (ASTM C-131)

Introducción

Esta prueba se ha usado ampliamente como un indicador de la calidad relativa o competencia de varias fuentes de agregado de composiciones minerales análogas. La resistencia al desgaste se usa también para examinar la calidad del agregado; es esencial cuando éste se emplea para producir concretos sujetos a abrasión, como ocurre en los pisos para servicio pesado o en pavimentos.

Este método de prueba cubre el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaño igual o menor a 1½" (37.5 mm) por resistencia al desgaste utilizando la Máquina de Los Ángeles. Esta prueba da una idea clara del porcentaje de desgaste que puede sufrir una roca como parte de una estructura que resista fuerzas tangenciales.

Equipo y Herramientas

- ✓ Agregado grueso
- ✓ Máquina de los Ángeles
- ✓ Juego de tamices con tamaño de mallas de acuerdo con el tamaño máximo del agregado.
- ✓ Esferas de acero de aproximadamente 46.8 mm de diámetro y peso de 420 g.
- ✓ Cuchara de albañil



- ✓ Balanza con exactitud dentro de 0.1% de la carga de prueba, o por encima del rango requerido por la misma.
- ✓ Bandeja, brochas, etc.



Figura 3.5. Máquina de Abrasión de Los Ángeles.

Fuente: Propia de los autores.

Procedimiento

1. Se obtienen una muestra del campo representativo del banco a usar, según la norma ASTM D 75, y se reduce ésta al tamaño de muestra adecuado de acuerdo con la Práctica C 702.
2. La muestra de prueba deberá ser lavada y secada a una temperatura entre los 110 ± 5 °C o hasta obtener peso constante.
3. Se separa el agregado en fracciones haciendo uso de los tamices y combinarlos de acuerdo a la granulometría de la Tabla 3.6, que más cercana corresponda al agregado a utilizar, registrando el peso de la muestra, antes de ensayarlo con una precisión de 1g en cada malla.



Tabla 3.5. Graduación de la muestra de ensayo

TAMAÑO MÍNIMO MALLA (ABERTURA CUADRADA)		PESO DE TAMAÑO INDICADOS (g)			
		GRANULOMETRÍA			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
1 ½" (37.5 mm)	1" (25.0 mm)	1250±25			
1" (25.0 mm)	¾" (19 mm)	1250±25			
¾" (12.5 mm)	½" (19.0 mm)	1250±10	2500±10		
½" (9.5 mm)	⅜" (12.5 mm)	1250±10	2500±10		
⅜" (9.5 mm)	¼" (6.3 mm)			2500±10	
¼" (6.3 mm)	No. 4 (4.75 mm)			2500±10	
No. 4 (4.75 mm)	No. 8 (2.36 mm)				5000±10
TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Fuente: MTC E 207-2000

Determinación de la carga abrasiva:

- i. La carga abrasiva consta de esferas de acero de 46.8 mm de diámetro y peso por unidad de 420 g.
- ii. El peso de la carga abrasiva dependerá de la granulometría de la muestra de prueba según se muestra en la tabla 3.6:

Tabla 3.6. Carga Abrasiva según granulometría de ensayo

GRANULOMETRÍA	No DE PROBETAS	PESO DE LA CARGA
A	12	5000±25 g
B	11	4584±25 g
C	8	3330±25 g
D	6	2500±25 g

Fuente: MTC E 207-2000



4. Se coloca la muestra de prueba y la carga abrasiva en la Máquina de Los Ángeles, haciéndola girar a una velocidad de 30 a 33 r.p.m. hasta completar 500 revoluciones; la máquina deberá mantener una velocidad periférica sustancialmente uniforme.
5. Descargar el material de la máquina, debiendo separar la muestra preliminar con una malla más gruesa que la # 12, la proporción que pasa se cribará en la malla # 12.
6. El material grueso retenido en la malla # 12 se lava y se seca al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta peso constante con un gramo de precisión.

**3.1.5. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado:
(NTP 400.017)**

Introducción

Este método de ensayo cubre la determinación del peso unitario del agregado en una condición compactada o suelta, y el cálculo de vacíos entre las partículas del agregado fino, grueso o una mezcla de ellos, basado en la misma determinación. Este método de ensayo es aplicable a agregados que no excedan los 150 mm de tamaño máximo nominal.

Nota 6 - Peso Unitario es la terminología tradicional usada para describir la propiedad determinada por este método de ensayo, el cual es peso por unidad de volumen (más correctamente masa por unidad de volumen: Densidad)

Este método de ensayo es frecuentemente usado para determinar los valores del peso unitario que son necesarios para su uso en muchos métodos de selección, proporcionamiento de mezclas de concreto, etc.



El peso unitario también puede ser usado para determinar la relación masa/volumen utilizada en conversiones de unidades. Sin embargo, las relaciones entre el grado de compactación de agregados en una unidad de volumen o apilado y ejecutado en este método de ensayo son desconocidas. Además los agregados en unidades de transporte o apilado usualmente contienen humedad superficial o absorbida (la última de las cuales afecta el valor bruto) en tanto este método de ensayo determina la densidad bruta sobre una base seca. Un procedimiento es incluido para calcular el porcentaje de vacíos entre las partículas de agregado basado en la densidad bruta determinada por este método de ensayo.

Definiciones

Masa: Cantidad de materia de un cuerpo.

Peso Unitario: Peso por unidad de volumen

Peso: Fuerza ejercida sobre un cuerpo por la gravedad

Material y Equipo

- ✓ Balanza o báscula con una precisión de 0.1 % de la carga de ensayo y para cualquier punto dentro del rango de uso, con una graduación de al menos 0.1 lb (0.05 Kg).
- ✓ Varilla Compactadora: Una varilla compactadora redonda acero, de 5/8 pulg. (16 mm) de diámetro y de aproximadamente de 24 pulg. (600 mm) de longitud teniendo un extremo o ambos redondeados a una punta hemisférica, con diámetro igual a 5/8 pulg. (16 mm).



- ✓ Recipiente Volumétrico: Recipiente de forma cilíndrica, metálico (ver Fig.3.12), preferiblemente provisto con asas. Deberá ser impermeable, con la parte superior y la inferior planas y niveladas, suficientemente rígido para mantener su forma bajo uso pesado. El recipiente deberá tener una altura igual al diámetro, pero en ningún caso la altura será menor del 80 % ni mayor del 150% del diámetro. La capacidad del recipiente estará conforme a los límites de la Tabla 3.7 para el tamaño del agregado a ser ensayado. El espesor del metal en el recipiente será como se describe en la Tabla 3.8. La pared interior del depósito será una superficie continua y lisa.

Nota 7 - El borde superior es completamente plano, si una "medida" de 0.25 mm no puede ser insertada entre el borde y una pieza de vidrio con 0.06 mm de espesor puesta sobre el depósito. El fondo y el borde superior están satisfactoriamente paralelos si las inclinaciones entre las piezas de la placa de vidrio en contacto con el borde superior y fondo no exceden el 0.87 % en ninguna dirección.

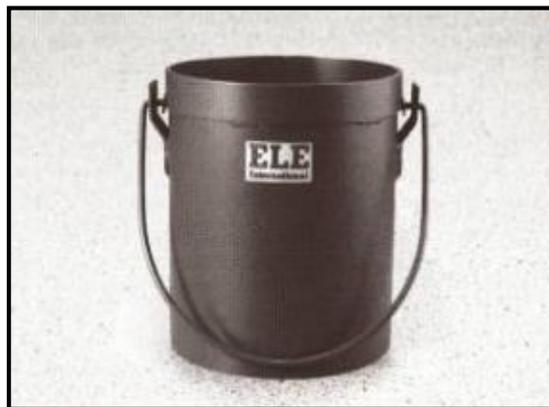


Figura 3.6. Recipiente estandarizado para la obtención del peso volumétrico

Fuente: ASTM C29



Tabla 3.7. Capacidad del Depósito medidor

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		CAPACIDAD DE LA MEDIDA	
Mm	Pulgadas	L (m ³)	p ³
12.5	½	2.8 (0.0028)	1/10
25.0	1	9.3 (0.0093)	1/3
37.5	1 ½	14.0 (0.014)	½
75.0	3	28.0 (0.028)	1
112.0	4 ½	70.0 (0.070)	2 ½
150.0	6	100.0 (0.100)	3 ½

Fuente: ASTM C29

Tabla 3.8. Requisitos para los recipientes de medidas

ESPESOR DEL METAL MÍNIMO			
Capacidad de medida	Fondo	Sobre 1 ½ pulg ó 38 mm de pared	Espesor Adicional
Menos de 0,4p ³	0,20 pulg	0,10 pulg	0,10 pulg
De 0,4 p ³ a 1,5p ³ , incluido	0,20 pulg	0,20 pulg	0,12 pulg
Sobre 1,5 a 2,8p ³ , incluido	0,40 pulg	0,25 pulg	0,15 pulg
Sobre 2,8 a 4,0p ³ , incluido	0,50 pulg	0,30 pulg	0,20 pulg
Menos de 11 L	5,0 mm	2,5 mm	2,5 mm
11 a 42 L, incluido	5,0 mm	5,0 mm	3,0 mm
Sobre 42 a 80 L, incluido	10,0 mm	6,4 mm	3,8 mm
Sobre 80 a 133 L, incluido	13,0 mm	7,6 mm	5,0 mm

Fuente: ASTM C29

- ✓ Pala o cucharón. Una pala o cucharón de tamaño conveniente para llenar el depósito con agregado.
- ✓ Equipo de calibración: Una pieza o placa de vidrio, preferiblemente con espesor mínimo de 1/4 pulg (6 mm) y de al menos 1 pulg. (25 mm) más largo que el diámetro del depósito a ser calibrado. Un suministro de agua



bombeada o grasa de chasis puede ser colocado en el borde del depósito para prevenir derrame o pérdida.

Muestras de ensayo

- ✓ Una extracción y preparación de la muestra se hará de acuerdo con la norma NTP 400.010.
- ✓ La muestra de ensayo será de aproximadamente 125% a 200% de la cantidad requerida para llenar la medida y será manipulada evitando su segregación. Secar el agregado a peso constante en un horno preferiblemente a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Selección del procedimiento

El procedimiento para la determinación de peso unitario suelto se usará sólo cuando sea indicado específicamente. De otro modo, el peso unitario compactado será determinado por el procedimiento de apisonado para agregados que tengan un tamaño máximo nominal de 37,5 mm (1 ½ pulg) o menos; o por el procedimiento de percusión para agregados con tamaño máximo nominal entre 37,5 mm y 150 mm (1 ½ pulg a 6 pulg).

Procedimiento de apisonado

1. Se llena la tercera parte del recipiente de medida y se nivela la superficie con la mano. Se apisona la capa de agregado con la barra compactadora, mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie. Se llena hasta las dos terceras partes de la medida y de nuevo se compacta con 25 golpes como antes. Finalmente, se llena la medida



hasta rebosar, golpeándola 25 veces con la barra compactadora; el agregado sobrante se elimina utilizando la barra compactadora como regla.

2. Al compactar la primera capa, se procura que la barra no golpee el fondo con fuerza. Al compactar las últimas dos capas, sólo se emplea la fuerza suficiente para que la barra compactadora penetre la última capa de agregado colocada en el recipiente.
3. Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido y el peso del recipiente sólo y se registra los pesos con una aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).

Método de percusión

El recipiente de medida se llena en tres capas aproximadamente iguales. Cada capa se compacta colocando el recipiente con el agregado sobre un piso firme (v.g. un piso de concreto), se inclina hasta que el borde opuesto a la base de apoyo diste unos 5 cm del piso, para luego dejarlo caer en forma tal que dé un golpe seco. Mediante este procedimiento, las partículas del agregado se acomodan de modo compacto. Cada capa se compacta, dejando caer el recipiente 50 veces en la forma descrita, 25 veces cada extremo. El agregado sobrante se elimina con una regla.

Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido y el peso del recipiente y se registran los pesos con una aproximación de 0,05 kg (0,1 lb). 11.



Determinación del peso suelto

Procedimiento con pala: El recipiente de medida se llena con una pala o cuchara hasta rebosar, descargando el agregado desde una altura no mayor de 50 mm (2") por encima de la parte superior del recipiente. El agregado sobrante se elimina con una regla.

Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido y el peso del recipiente y se registran los pesos con una aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).

Cálculos

Peso Unitario.-Calcular el peso unitario compactado o suelto, como sigue: $M = \text{Peso Unitario del agregado en kg/m}^3 \text{ (lb/p}^3\text{)}$

$$M = \frac{G - T}{V} \quad M = (G - T) \times F$$

Donde:

G = Peso del recipiente de medida más el agregado en kg (lb)

T = Peso del recipiente de medida en kg (lb)

V = Volumen de la medida en m³ (p³), y

F = Factor de la medida en m⁻³ (p⁻³)

El peso unitario determinado por este método de ensayo es para agregado en la condición seco. Si se desea calcular el peso unitario en la condición saturado con superficie seca (SSS), utilice el procedimiento descrito en este método y en este caso calcule el peso unitario SSS utilizando la siguiente expresión:

$$M_{SSS} = M[1 + (A/100)] \quad (3.3)$$



Donde:

MSSS = Peso Unitario en la condición Saturado Superficial Seco, en kg/m³ (lb/p³).

A = Porcentaje de absorción del agregado determinado de acuerdo con la norma
NTP 400.021 ó NTP 400.022

Contenido de Vacíos:

Calcular el contenido de vacíos en el agregado utilizando el peso unitario calculado según 12.1, como sigue:

$$\% \text{ vacíos} = 100[(S \times W) - M] / (S \times W) \quad (3.4)$$

Donde:

M = Peso Unitario del agregado en kg/m³ (lb/p³)

S = Peso Específico de masa (base seca) determinado de acuerdo con la norma
NTP 400.022, y

W = Densidad del agua, 998 kg/m³ (62,3 lb/p³)

Precisión

Agregado Grueso (Peso Unitario):

- Precisión para un sólo operador (REPETIBILIDAD): La desviación típica ha sido establecida en 14 kg/m³ (0,88 lb/p³). Luego los resultados de dos ensayos realizados por un sólo operador con el mismo material no diferirán en más de 40 kg/m³ (2,5 lb/p³).
- Precisión Multilaboratorio (REPRODUCTIBILIDAD): La desviación típica ha sido establecida en 30 kg/m³ (1,87 lb/p³). Luego dos resultados realizados en dos diferentes laboratorios con el mismo material no diferirán en más de 85 kg/m³ (5,3 lb/p³).



Agregado Fino (Peso Unitario):

- Precisión para un sólo operador (REPETIBILIDAD): La desviación típica ha sido establecida en 14 kg/m³ (0,88 lb/p³). Luego los resultados de dos ensayos realizados por un sólo operador con un mismo material no diferirán en más de 40 kg/m³ (2,5 lb/p³).
- Precisión Multilaboratorio (REPRODUCTIBILIDAD): La desviación típica ha sido establecida en 44 kg/m³ (2,76 lb/p³). Luego dos resultados realizados en dos diferentes laboratorios con el mismo material no diferirán en más de 125 kg/m³ (7,8 lb/p³). Estos índices de precisión, desviación típica y máxima diferencia, han sido establecidos para peso unitario suelto, utilizando un recipiente de medida de 2,8 L (1/10 p³).

3.1.6. Método de Ensayo para Determinar la Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Agregado Grueso: (NTP 400.021)

Introducción

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (no incluyendo el volumen de vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado grueso. Dependiendo del procedimiento usado, la densidad (Kg/m³, lb/pie como secado al horno (SH), saturado superficialmente seco (SSS), o como densidad aparente. De igual forma, la densidad relativa (gravedad específica) una cantidad sin dimensiones, es expresada como SH, SSS, o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad SH o densidad



relativa Son determinadas después de secar el agregado. La densidad SSS, densidad relativa SSS, y absorción son determinada después de saturar el agregado en agua para una duración prescrita.

Este método de ensayo es usado para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un número grande de partículas de agregados y proporciona un valor promedio representativo de la muestra. Distinción es hecha entre la densidad de las partículas de agregado como determinada por este método de ensayo, y la densidad bruta de agregados determinada, los cuales incluyen el volumen de vacíos entre las partículas de agregados.

Este método de ensayo no pretende ser usado con agregados de peso ligero. Los valores declarados en unidades SI serán considerados como el estándar para dirigir el ensayo. Los resultados del ensayo para densidad serán reportados en unidades SI, como apropiados para el uso de los mismos. El texto de este método de ensayo referencia notas y pie de notas las cuales proporcionan un material explicatorio. Estas notas y pie de notas (excluyendo aquellas en tablas y figuras) no serán consideradas como requerimientos de este método de ensayo.

Una muestra de agregado es inmersa en agua por 24 ± 4 h para esencialmente llenar los poros. Entonces la muestra es removida del agua, y el exceso de agua en la superficie de las partículas secada y determinada su masa. Subsecuentemente, el volumen de la muestra es determinado por el método de desplazamiento de agua.



Finalmente, la muestra es secada al horno y determinada la masa. Usando entonces los valores de masa obtenidos y las formulas en este método de ensayo, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción.

La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente usada para cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas conteniendo agregados, incluyendo concreto de cemento Pórtland, concreto bituminoso y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas con base a un volumen absoluto. La densidad relativa (gravedad específica) es también usada en el cálculo de vacíos en los agregados en el Método de Ensayo C 29/C 29M. La densidad relativa (gravedad específica) (SSS) es usada si el agregado esta húmedo, esto es, si su absorción ha sido satisfecha. A la inversa, la densidad relativa (gravedad específica) (SH) es usada para cálculos cuando el agregado está seco o se asume estar seco.

La densidad aparente y densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) pertenece al material sólido de partículas constituyentes no incluyendo el espacio de poros con las partículas que es accesible al agua.

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de poro con las partículas constituyentes, comparado con la condición seca, cuando es considerado que el agregado ha estado en contacto con agua por un



periodo suficiente para poder satisfacer la absorción potencial. La norma para la determinación de la absorción en el laboratorio es obtenida después de sumergir el agregado seco por un período de tiempo prescrito. Los agregados explotados por debajo del nivel de agua comúnmente tienen un contenido de humedad mayor que la absorción determinada por este método de ensayo, si es usada sin oportunidad de secar antes de su uso.

A la inversa, algunos agregados los cuales no han sido mantenidos continuamente en una condición húmeda hasta ser usados, probablemente pueden contener una cantidad de humedad absorbida menor que la condición de inmersión durante 24 horas. Para un agregado que ha estado en contacto con agua y que tiene humedad libre en la superficie de las partículas, el porcentaje de humedad libre es determinado deduciendo la absorción del contenido de humedad total.

Los procedimientos generales descritos en este método de ensayo son convenientes para determinar la absorción de agregados que tienen condición diferente de 24 h de saturación, tales como agua hervida o saturación de vacíos. Los valores obtenidos para absorción por otros métodos de ensayo serán diferentes de los valores obtenidos por la saturación prescrita, como será la densidad relativa (gravedad específica) (SSS). Los poros en agregados de peso ligero no están necesariamente llenos de agua después de la inmersión por 24h. En efecto, la absorción potencial para muchos de tales agregados no es



satisfecha después de algunos días de inmersión en agua. Por lo tanto este método de ensayo no está destinado para usarse con agregado de

Equipo y herramientas

- ✓ Balanza - Un dispositivo para determinar la masa que sea sensitivo, legible, y preciso a 0.05 % de la masa de la muestra en algún punto del rango usado para este ensayo, ó 0.5 g, el que sea mayor. La balanza estará equipada con aparatos adecuados para suspender la muestra contenida en agua desde el centro de la plataforma o pan de la balanza.
- ✓ Contenedor de Muestra - Una cesta de alambre de 3.35 mm (No. 6) o malla fina, o una cesta de abertura y altura iguales, con una capacidad de 4 a 7 litros para alojar un tamaño nominal máximo de agregado de 37.5 mm (1 ½ pulg.) o menor y una canastilla más grande según sea necesario para ensayar agregados de tamaños máximo mayores. La canastilla será construida de tal forma que se evite atrapar aire cuando sea sumergida.
- ✓ Tanque de agua - Un tanque de agua en el cual la canastilla es colocada suspendida debajo de la balanza.
- ✓ Mallas - Una malla de 4.75 mm (No. 4) u otro tamaño como se necesite.

Muestreo

Mezcle completamente la muestra de agregado y redúzcalo a la cantidad aproximada necesaria. Rechace todo el material que pasa la malla de 4.75 mm (No. 4) por tamizado en seco y lavando completamente para remover el polvo y otros recubrimientos de la superficie. Si el agregado grueso contiene una cantidad sustancial de material más fino que la



malla de 4.75 mm, use la malla de 2.36 mm (No. 8) en lugar de la malla de 4.75 mm.

Alternativamente, separe el material más fino que la malla de 4.75 mm y ensaye el material fino.

Nota 8 - Si los agregados menores de 4.75 mm (No. 4) son usados en la muestra, verifique para asegurar que el tamaño de las aberturas en el contenedor de la muestra es menor que el agregado de tamaño mínimo.

La masa mínima de la muestra de ensayo a ser usada está dada a continuación.

Es permitido ensayar el agregado grueso en algunas fracciones de tamaño. Si la muestra contiene más del 15 % retenido en la malla de 37.5 mm (1 ½ pulg), ensaye el material más grande que 37.5 mm en una o más fracciones de tamaño separadamente del menor tamaño de fracción. Cuando un agregado es ensayado en fracciones de tamaños separados, la masa mínima de la muestra de ensayo para cada fracción deberá ser la diferencia entre las masa prescritas para el tamaño máximo y mínimo de la fracción.

Si la muestra es ensayada en dos o más tamaños de fracción, determine la graduación de la muestra, incluyendo las mallas usadas para separar el tamaño de la fracción para la determinación en este método. En el cálculo de porcentaje de material de cada tamaño de fracción, ignore la cantidad de material más fino que la malla de 4.75 mm (No. 4) (ó malla de 2.36 mm (No. 8)



Nota 9 - Cuando ensaye agregado grueso de tamaño máximo nominal grande se requerirán muestras de ensayo grandes, esto puede ser más conveniente para ejecutar el ensayo en dos o más sub muestras, y los valores obtenidos combinados por computación.

Tabla 3.9. Masa mínima de la muestra para el ensayo

Tamaño Máximo Nominal, mm (pulg)	Masa mínima de Prueba Kg (lb)
12.5 (1/2) ó menos	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 ½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 ½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 ½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
125 (5)	75 (165)

Fuente: MTC E 2006-2000

Procedimiento

- ✓ Seque la muestra de ensayo hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$; enfriar al aire a temperatura del cuarto, por 1 a 3 horas para muestras de ensayo de 37.5 mm (1 ½ pulg.) de tamaño máximo nominal, o más tiempo para tamaños mayores hasta que el agregado se haya enfriado a una temperatura que sea manejable (aproximadamente 50°C). Posteriormente sumerja el agregado en agua a la temperatura del cuarto por un periodo de $24 \pm 4 \text{ h}$.
- ✓ En donde los valores de la absorción y la densidad relativa (gravedad específica) son usados en la cual los agregados se encuentran en su



condición de humedad natural, el requisito del numeral anterior para secado inicial es opcional y si la superficie de las partículas en la muestra se han conservado continuamente húmedas antes de ser ensayadas, dicho requisito para 24 ± 4 h de saturación es también opcional.

Nota 10 - Valores para absorción y densidad relativa (gravedad específica) (SSS) puede ser significativamente mayor para agregados no secados al horno antes de la inmersión que para los mismos agregados tratados de acuerdo con numeral 1. Esto es especialmente cierto para partículas mayores de 75 mm puesto que el agua no es capaz de penetrar los poros hasta el centro de la partícula en el prescrito período de inmersión.

- ✓ Remueva la muestra de ensayo del agua y enróllela en un paño o franela absorbente hasta que toda la película visible de agua sea removida. Seque las partículas grandes individualmente. Una corriente de aire es permitido para ayudar en la operación de secado. Tenga cuidado para evitar la evaporación de agua de los poros del agregado durante la operación de secado superficial.
- ✓ Determine la masa de la muestra de ensayo en la condición saturado superficialmente seco. Registre ésta y las subsecuentes masas con una precisión de 0.5 g o 0.05 % de la masa de la muestra, la que sea mayor.
- ✓ Después de determinar la masa al aire, inmediatamente coloque la muestra de ensayo saturada superficialmente seca en el contenedor de muestra y determine su masa aparente en agua a $23 \pm 2.0^\circ$ C. Tenga cuidado de eliminar todo el aire atrapado antes de pesar, agitando el recipiente mientras es sumergido.

Nota 11 - La diferencia entre la masa al aire y la masa cuando la muestra es sumergida en agua es igual a la masa de agua desplazada por la muestra.



Nota 12 - El contenedor puede ser inmerso a una profundidad suficiente para cubrir la muestra de ensayo y él mismo, determinando la masa aparente en agua. El alambre del cual se suspende el contenedor debe ser del tamaño más pequeño posible para minimizar cualquier efecto posible de una longitud de inmersión variable.

- ✓ Seque la muestra de ensayo a masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, enfriar al aire a la temperatura del cuarto durante 1 a 3 h, o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea apropiada para manejar (aproximadamente 50°C), y determine la masa.

Cálculos

Se calculan como sigue:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B-C} \quad (3.5)$$

$$\text{Peso específico aparente (S.S.S)} = \frac{A}{B-C} \quad (3.6)$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B-C} \quad (3.7)$$

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{A-C} \quad (3.8)$$

$$\text{Absorción} = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (3.9)$$

A = Peso en el aire de la muestra seca en gramos.

B = Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca, en gramos.

C = Peso sumergido en agua de la muestra saturada, en gramos.



3.1.6. Método de Ensayo para Determinar la Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Agregado Fino: (NTP 400.022)

Introducción

La presente NTP establece un procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) del agregado fino.

Una muestra de agregado es sumergida en agua por 24 ± 4 h a esencialmente poros llenos. Es entonces removido del agua, el agua es secada de la superficie de las partículas y la masa determinada. Subsecuentemente, la muestra (o una porción de ésta) se coloca en un recipiente graduado y el volumen de la muestra se determina por el método gravimétrico o volumétrico. Finalmente, la muestra se seca al homo y la masa determinada de nuevo. Usando entonces los valores de masa obtenida y fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción.

La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente usada para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas conteniendo agregado incluyendo concreto de cemento Pórtland, concreto bituminoso y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas con base a un volumen absoluto. La densidad relativa (gravedad específica) también es usada en el cálculo de vacíos en los agregados. La densidad relativa (gravedad específica)



(SSS) es usada en la determinación de la humedad superficial del agregado fino por desplazamiento de agua. La densidad relativa (gravedad específica) (SSS) es usada en el agregado húmedo, esto es, si su absorción ha sido satisfecha. A la inversa, la densidad o densidad relativa (gravedad específica) (SH) es usada para cálculos cuando el agregado está seco o se asume estar seco.

La densidad aparente y densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) pertenece al material sólido de partículas constituyentes no incluyendo el espacio de poro con las partículas que es accesible al agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología de agregados de construcción.

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un material agregado debido al agua absorbida en los espacios de poro con las partículas constituyentes, comparado con la condición seca. Cuando es considerado que el agregado ha estado en contacto con agua por un período suficiente para poder satisfacer la absorción potencial. La norma para la determinación de la absorción en el laboratorio es obtenida después de sumergir el agregado seco por un periodo de tiempo prescrito.

Los agregados explotados debajo del nivel de agua comúnmente tienen un contenido de humedad mayor que la absorción determinada por este método de ensayo, si es usado sin oportunidad para secar previo al uso. A la inversa, algunos agregados los cuales no han sido mantenidos



continuamente en una condición húmeda hasta ser usados probablemente pueden contener una cantidad de humedad absorbida menor que la condición de inmersión durante 24 horas. Para un agregado que ha estado en contacto con agua y que tiene humedad libre en la superficie de las partículas, el porcentaje de humedad libre es determinado deduciendo la absorción del contenido de humedad total.

Los procedimientos generales descritos en este método de ensayo son convenientes para determinar la absorción de agregados que tienen condición diferente de 24 h, tales como agua de o saturación al vacío. Los valores obtenidos para absorción por otros métodos de ensayo serán diferentes de los valores obtenidos por el prescrito 24 h saturado, como la densidad (SSS) o la densidad relativa (gravedad específica) (SSS).

Los poros en los agregados de peso ligero no están necesariamente llenos de agua después de la inmersión de 24 h. En realidad, la absorción potencial para muchos de tales agregados no es satisfecha después de algunos días de inmersión en agua. Por lo tanto, este método de ensayo no está destinado para usarse con agregados de

Equipo y Herramientas

- ✓ Balanza o báscula que tenga una capacidad de 1 Kg. o más, con sensibilidad a 0.1 g o menos y precisión de 0.1 % de la carga de ensayo en algún punto con el rango de uso para este método de ensayo.



- ✓ Picnómetro (para usar con el Procedimiento Volumétrico). Frasco u otro recipiente compatible en el cual la muestra de ensayo de agregado fino puede ser fácilmente introducida y en el cual el volumen contenido puede ser reproducido con $\pm 0.1 \text{ cm}^3$
- ✓ El volumen del recipiente lleno a la marca será al menos 50 % mayor que el espacio requerido para acomodar la muestra de ensayo. Un frasco volumétrico (ver fig. 3.7) de 500 cm^3 de capacidad o una jarra de frutas apropiadas con un picnómetro en el borde superior es satisfactorio para una muestra de ensayo de 500 g de agregado fino.
- ✓ Frasco (para usar con el Procedimiento Volumétrico). Un frasco de Le Chatelier para una muestra de ensayo de aproximadamente 55 g.
- ✓ Molde y Pisón para Ensayo de Humedad Superficial (ver Fig. 8) - El molde metálico será de la forma de un cono truncado con las dimensiones siguientes: $40 \pm 3 \text{ mm}$ en el borde superior, $90 \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro interno en la base y $75 \pm 3 \text{ mm}$ de altura, con el metal teniendo un espesor mínimo de 0.8 mm. El pisón metálico tendrá una masa de $340 \pm 15 \text{ g}$ y una cara golpeadora circular y plana de $25 \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro.



**Figura 3.7. Picnómetro
para arena y grava fina**

Fuente: Propia de los autores.



**Figura 3.8. Cono y pisón para
determinar la absorción de la arena**

Fuente: ELE International

Preparación de la muestra

Se coloca aproximadamente 1000g del agregado fino, obtenido por método del cuarteo y secado a peso constante a una temperatura $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Se cubica la muestra con agua y se deja reposar durante 24 horas.

Se extiende sobre la superficie plana expuesta a una corriente suave de aire tibio y se remueve con frecuencia, para garantizar un secado uniforme. Se continúa esta operación hasta que los granos de agregado



no se adhieran marcadamente entre sí. Luego se coloca en el molde cónico, se golpea la superficie suavemente 25 veces con la barra de metal y se levanta el molde verticalmente. Si existe humedad libre, el cono de agregado fino mantendrá su forma. Se sigue con el secado, revolviendo constantemente y se prueba a intervalos frecuentes hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde. Esto significa que el agregado fino ha alcanzado una condición de superficie seca.

Procedimiento

- ✓ Procedimiento Gravimétrico (Picnómetro):
- ✓ Llene parcialmente el picnómetro con agua. Introduzca en el picnómetro 500 ± 10 g de agregado fino saturado superficialmente seco preparado como se describe en la sección y llene con agua adicional hasta aproximadamente el 90% de la capacidad.
- ✓ Manualmente ruede, invierta y agite el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire.

Nota 13 - Normalmente se requiere de 15 a 20 minutos para eliminar las burbujas de aire por métodos manuales. Se ha encontrado que sumergir la esquina de una toalla de papel dentro del picnómetro es útil para dispersar la espuma que a veces se forma cuando se eliminan las burbujas de aire. Opcionalmente, puede ser usada una pequeña cantidad de alcohol isopropílico para dispersar la espuma.

- ✓ Mecánicamente agite el picnómetro por vibración externa, de tal manera que no degrade la muestra. Un nivel de agitación ajustado en un conjunto de partículas individuales en movimiento es suficiente para promover el desairado sin degradación.



- ✓ Después de eliminar todas las burbujas de aire, ajuste la temperatura del picnómetro y su contenido a 23.0 ± 2.0 °C si es necesario por inmersión parcial en agua circulando, y lleve el nivel del agua en el picnómetro a su capacidad de calibración. Determine la masa total del picnómetro, el espécimen y el agua.
- ✓ Remueva el agregado fino del picnómetro, seque a masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C, enfríe al aire a la temperatura del cuarto para $1 \pm \frac{1}{2}$ h y determine la masa.
- ✓ Determine la masa del picnómetro lleno con agua a su capacidad de calibración a una temperatura de 23.0 ± 2.0 °C.

Cálculos

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B+S-C} \quad (3.10)$$

$$\text{Peso específico aparente}(S.S.S) = \frac{A}{B+S-C} \quad (3.11)$$

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{B+A-C} \quad (3.12)$$

$$\text{Absorción} = \frac{S-A}{A} \times 100 \quad (3.13)$$

A = Peso en el aire de la muestra desecada, en gramos.

B = Peso del picnómetro aforado lleno de agua, en gramos.

C = Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua, en gramos.

S = Peso de la muestra saturada, con superficie seca en gramos.



3.2. Estudio del Concreto con Caucho.

Descripción general

El desarrollo experimental parte con el diseño de un concreto sin caucho (concreto patrón, en adelante CP-S/C.) que servirá de referencia en el estudio de concretos con diferentes dosis de caucho.

Se prepararán tres grupos de probetas de concreto donde se sustituirán sus áridos por fibras de caucho reciclados en dosis de 5%, 15% y 25%, respectivamente.

El procedimiento consiste en la elaboración de probetas cilíndricas de 30x15 cm. de concreto, en las cuales se reemplazará parte del volumen de los áridos por trozos de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos usados, proceso que se describirá más adelante.

Una vez elaboradas las probetas, se realizarán ensayos con los cuales se determinarán las propiedades físicas y mecánicas del concreto con fibras de caucho (véase en el ANEXO 6, Foto10, Foto11 y Foto12).

3.2.1. Granulometría del caucho

- ✓ El caucho de grano fino utilizado tiene un tamaño de 1-4 mm procedente de neumáticos fuera de uso y obtenido mediante trituración manual.
- ✓ El caucho de grano grueso utilizado es de tamaño de 10-16 mm procedente de neumáticos fuera de uso y obtenido mediante trituración manual.



3.2.2. Ensayos Aplicados al Caucho

Para determinar la densidad de las fibras del caucho se prosigue con el siguiente método:

- ✓ Pese las fibras del caucho que quepa en la probeta de 50 ml.
- ✓ Llene la probeta con agua, hasta la marca de 25 ml.
- ✓ Coloque con cuidado las fibras de caucho en la probeta, de manera que se sumerja. Lea y anote el volumen. La diferencia entre los dos volúmenes da por resultado el volumen del caucho.
- ✓ Calcule la densidad del caucho.

3.2.3. Metodología de Fabricación de las Probetas

Para poder llevar acabo el método experimental, se hizo una aproximación del volumen de cada concreto necesario para realizar los diferentes ensayos. Se calcularán los volúmenes de las probetas y se multiplicaron por el número de probetas necesarias para cada ensayo.

A la hora de determinar una dosificación para el concreto de referencia, se ha adoptado por utilizar una dosificación dada por el método de ACI con una relación agua-cemento de 0.56 constante.

Es importante destacar que en la dosificación de éstos seis concretos con caucho se ha mantenido constante, variando únicamente la cantidad de FCR introducida.



3.2.3.1 Dosificación de los grupos de concretos:

Se confeccionarán seis grupos de concretos de probetas cilíndricas de 30x15 cm con las siguientes dosis de caucho:

- Grupo N° 1: C5% FCR-F.
- Grupo N° 2: C15% FCR-F.
- Grupo N° 3: C25% FCR-F.
- Grupo N° 4: C5% FCR-G.
- Grupo N° 5: C15% FCR-G.
- Grupo N° 6: C25% FCR-G

Los datos necesarios para la dosificación de los diferentes grupos de concretos son los siguientes:

- Densidad del agregado fino : 2.71 gr/cm³
- Densidad del agregado grueso : 2.88 gr/cm³
- Densidad del caucho : 1.11 gr/cm³

El resumen de los pesos de los materiales por metro cúbico se muestra a continuación:

- Cemento : 364.29 kg/m³
- Agregado fino : 844.48 kg/m³
- Agregado grueso : 1002.21 kg/m³
- Agua efectiva : 216.76 kg/m³



En el caso del C5%-FCR-F se le ha restado el 5% al peso total de la arena gruesa:

$$844.48 \text{ kg} \times 0.05 = 42.22 \text{ kg}$$

$$844.48 \text{ kg} - 42.22 = 802.25 \text{ kg}$$

Para poder calcular el volumen de arena sustituida se ha considerado que la densidad de la arena era de 2.71 gr/cm³ y que del caucho era 1.11 gr/cm³.

$$Peso_{caucho} = Peso_{agregado} \times \frac{Densidad_{caucho}}{Densidad_{agregado}}$$

$$Peso \text{ caucho} = 42.22 \text{ kg} \times 1.11 \text{ gr/cm}^3 / 2.71 \text{ gr/cm}^3$$

$$Peso \text{ caucho} = 17.44 \text{ kg}$$

En la tabla 3.10 se describen las distintas dosificaciones por metro cúbico de los concretos con fibras de cauchos reciclados.

Tabla 3.10. Dosificación de concreto con FCR

MEZCLAS	CEMENTO(kg/m ³)	ARIDOS CONVENCIONALES		PARTICULAS DE CAUCHO	
		arena(kg/m ³)	piedra(kg/m ³)	(1-4 mm) Kg/m ³	(12-20 mm) Kg/m ³
CP-S/C	364.29	844.48	1002.21	-	-
C5%-FCR-F	364.29	802.25	1002.21	17.44	
C15%-FCR-F	364.29	717.80	1002.21	52.31	
C25%-FCR-F	364.29	633.36	1002.21	87.19	
C5%-FCR-G	364.29	844.48	952.10		19.43
C15%-FCR-G	364.29	844.48	851.88		58.28
C25%-FCR-G	364.29	844.48	751.66		97.13

Fuente: Propia del autor



3.2.3.2 Nomenclatura de las probetas

Para poder mantener un adecuado registro de las probetas, se ha establecido la codificación que se detalla en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Nomenclatura de las probetas.

Código	Designación
CP-S/C	Concreto patrón sin caucho (referencia).
C5%-FCR-F	Concreto con 5% del peso de la arena gruesa sustituida por fibras de caucho reciclado.
C15%-FCR-F	Concreto con 15% del peso de la arena gruesa sustituida por fibras de caucho reciclado.
C25%-FCR-F	Concreto con 25% del peso de la arena gruesa sustituida por fibras de caucho reciclado.
C5%-FCR-G	Concreto con 5% del peso de grava sustituida por fibras de caucho reciclado.
C15%-FCR-G	Concreto con 15% del peso de grava sustituida por fibras de caucho reciclado.
C25%-FCR-G	Concreto con 25% del peso de grava sustituida por fibras de caucho reciclado.

Fuente: Propia del autor

En primer lugar se ha diferenciado el concreto en función de su composición: concreto de referencia y concreto con fibras de caucho reciclado (FCR). La codificación de éstos últimos está dividida en tres partes: en la primera se determina el porcentaje del volumen del árido que ha sido sustituido por caucho (5%, 15%, 25%), en la segunda se indica que el caucho es procedente de neumáticos reciclados, y en la tercera se define el grosor del grano del caucho (F: fino, G: grueso).



3.3. Elaboración del Concreto con FCR para Ensayos de Laboratorio

3.3.1. Proceso de elaboración de la mezcla de concreto

Antes de empezar con la rotación de la mezcladora se introducirá el agregado grueso con algo de agua que se usa en la mezcla como se muestra en la Fig. 3.9. Se pondrá en funcionamiento la mezcladora, al cabo de unas cuantas revoluciones se parará, para adicionar el agregado fino, el cemento, las FCR (según la granulometría) y el agua.

Seguidamente se mezclará el concreto durante 3 minutos a partir del momento en que todos los ingredientes estuvieran en la mezcladora. Se apagará la mezcladora durante 3 minutos y se pondrá en funcionamiento durante 2 minutos de agitación final.

El concreto se recibirá limpio y seco para agitarlo con un badilejo hasta hacerlo uniforme y evitar la segregación.

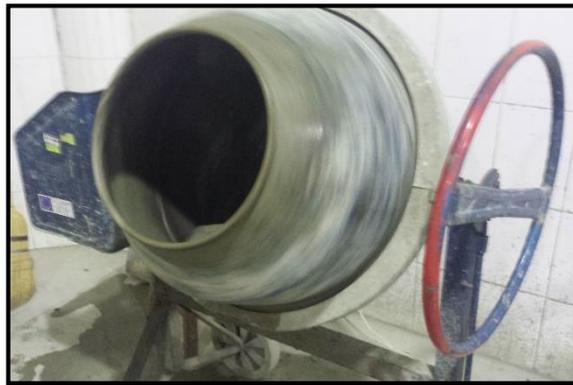


Figura 3.9. Concretera para la mezcla de concreto con FCR.

Fuente: Propia de los autores.



3.3.2. Preparación de los moldes

Para la realización del ensayo se han utilizarán probetas cilíndricas de 30x15 cm de acero. Los moldes deberán estar limpios y con superficie interior totalmente lisa. Antes de moldear las muestras se les ubicará lo más cerca posible del lugar donde se van a guardar para su fraguado en las siguientes 24 horas. Y también se cubrirá la parte interior con una película de petróleo para evitar que el concreto se pudiera adherir al molde. Se colocará los moldes sobre una superficie rígida y libre de vibraciones, evitando inclinaciones y movimientos bruscos. (Véase la Fig. 3.10).



Figura 3.10. Disposición de los moldes

Fuente: Propia de los autores.



3.3.3. Vertido y compactación del concreto

Para el llenado de los moldes se verterá el concreto en tres partes, cada una de aproximadamente $1/3$ de la altura del molde y nunca superior a 100 mm de espesor.

Se apisonará cada capa con la parte redonda de la varilla, se penetrará ligeramente en la capa inferior para asegurar la homogeneidad entre capas con el objetivo de eliminar las burbujas de aire atrapado en la masa, tanto exteriores como interiores. En éste proyecto se utilizará la compactación manual realizada con una varilla compactadora. Se someterá al concreto de por lo menos 25 golpes por capa y después se golpeará lateralmente el recipiente, de forma cuidadosa, con el mazo de goma hasta que las burbujas de aire mayores desaparezcan.

El concreto residual depositado sobre el borde superior del molde se retirará con la ayuda de una espátula metálica mediante una acción de vaivén, y posteriormente se nivelará la superficie hasta conseguir una cara perfectamente plana y lisa (véase en la Fig. 3.11).



Figura 3.11. Vertido y compactación del concreto

Fuente: Propia de los autores.

3.3.4. Curado inicial del concreto

El curado inicial del concreto tiene por finalidad impedir la pérdida de agua por evaporación de la mezcla y controlar la temperatura de la misma durante el proceso inicial de hidratación de los componentes activos del cemento, para que el concreto pueda alcanzar su máxima resistencia y durabilidad.

Mantener el contenido de humedad en el concreto es fundamental, y se colocará sobre las probetas cubriendo la totalidad de la superficie una lámina de plástico impermeable (véase la Fig. 3.12).

Este método se utilizará mediante las 24 primeras horas en el laboratorio a una temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Durante éste tiempo las probetas deberán estar protegidos de impactos y vibraciones.

El curado inicial del concreto se realizará siguiendo al MTC E702-2000.



Figura 3.12. Probetas cubiertas con plástico impermeable.

Fuente: Propia de los autores.

3.3.5. Desmolde e inmersión de la muestra en agua

Transcurrido el tiempo no menor de 20 horas ni mayor de 48 horas después de que se elaboró la probeta de concreto, se procederá a desmoldar las probetas cilíndricas, y para ello se aflojaron las tuercas. Y una vez desmoldadas las probetas, se transportarán evitando los golpes a una estancia con las condiciones ambientales normalizadas para continuar así con el proceso de curado.

Para la conservación de las probetas de concreto se colocarán en una piscina de agua en donde la probeta permanecerá totalmente sumergida y procurando que no se toquen entre sí. (véase en la Fig 3.13).



Figura 3.13. Probetas conservadas y sumergidas en agua.

Fuente: Propia de los autores.



3.4. Método de aplicación de los resultados obtenidos por medio del

Etbas v.15

3.4.1. Consideraciones iniciales

Se establece una estructura regular que se ha supuesto tendrá un uso de centro comercial, el cual consta con 6 niveles, siendo el techo del último piso de ningún uso exclusivo.

La estructura principal resistente a fuerzas laterales del edificio será construida exclusivamente con concreto reforzado, cuya resistencia a compresión a los 28 días será del CP-S/C, C5%-FCR-F, C15%-FCR-F, C5%-FCR-G, C15%-FCR-G. Se previó que el primer nivel tenga una altura de 5.00 metros, siendo los demás niveles de 3.50 metros de altura, en ambos casos considerados de piso a piso.

Se estructura el edificio con columnas y muros estructurales (placas), definiéndose entonces un sistema de muros estructurales de concreto armado; el centro del edificio no tiene losa, ya que, estará ocupada por escalera metálicas de acceso a cada piso. El edificio tendrá elementos de cierre que consistirán en paneles de vidrio, por lo que no se considerarán sus pesos durante el análisis.

La configuración y disposición de los elementos estructurales en planta se muestra a continuación en la Figura 3.14.

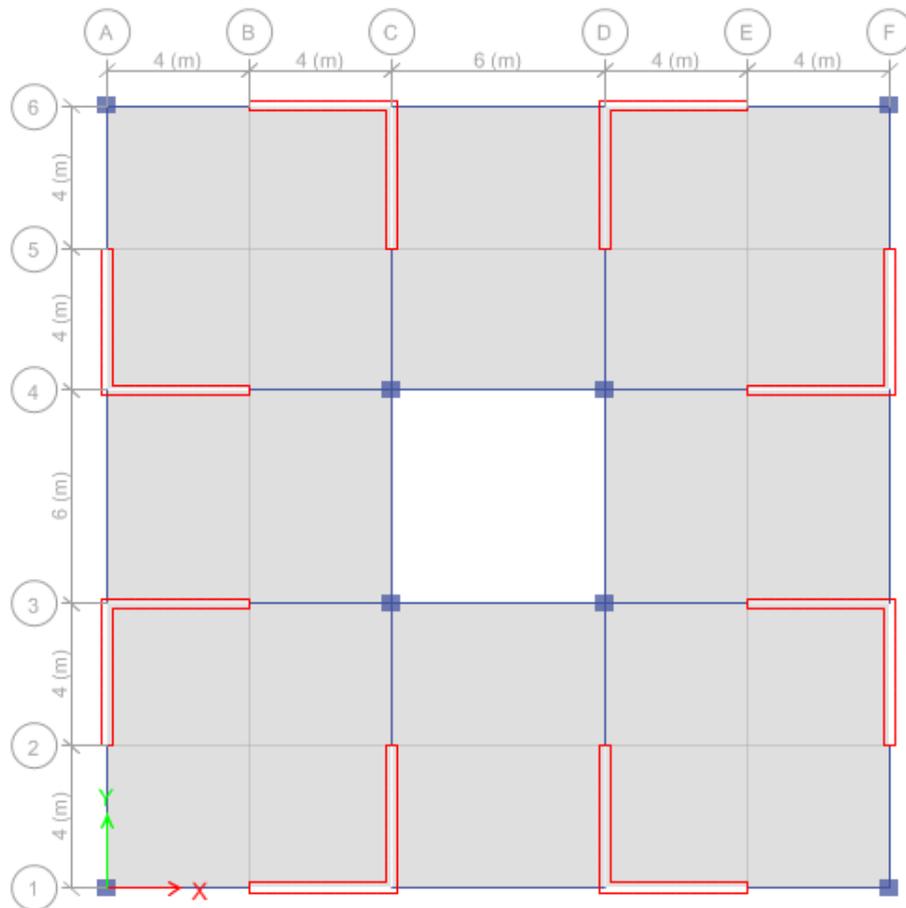


Figura 3.14. Configuración estructural en planta del edificio.

Figura: Propia de los autores.

Se ha establecido que las columnas serán de $b \times D = 50 \times 50 \text{ cm}^2$, las vigas de $b \times h = 30 \times 60 \text{ cm}^2$, los muros de $t = 30 \text{ cm}$, por la configuración estructural en planta que se tiene, y los espacios mostrados se tienen sistemas de losas aligeradas en una y dos direcciones, cuyos espesores son de 35 cm y 30 cm, con separaciones de eje a eje de sus viguetas de 40 cm.



3.4.2. Creación de materiales y elementos estructurales

Como se indicó en el apartado anterior, se trabajará únicamente con concreto reforzado, cuyas propiedades se muestran a continuación en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12. Datos para el modelamiento estructural

Especificaciones del Material	Resistencia a Compresión ($f'c$) Kg/cm ²	Peso específico (ρ_m) Kg/m ³	Módulo de elasticidad (E_c) Kg/cm ²
CP-S/C	282.70	2371	282223
C5%-FCR-F	262.40	2341	267275
C15%-FCR-F	191.90	2275	259706
C5%-FCR-G	237.60	2346	279349
C15%-FCR-G	174.20	2287	238740

Fuente: Propia del autor

Las propiedades de las secciones a usar para nuestro análisis son las que se presentan a continuación:

VIGAS

Identificador	:	V-30x60
Base	:	30 cm
Altura	:	60 cm
Recubrimiento+ Estribo+ varilla/2	:	5.75 cm
Rigidez a Flexión	:	0.50 $E_c I_g$
Rigidez a Corte	:	0.40 $E_c A_w$



COLUMNAS

Identificador	:	C-50x50
Base	:	50 cm
Altura	:	50 cm
Recubrimiento+ Estribo+ varilla/2	:	4.75 cm
Rigidez a Flexión	:	$0.70E_cI_g$
Rigidez a Corte	:	$0.40E_cA_w$
Rigidez Axial	:	$1.0E_cA_g$

MUROS ESTRUCTURALES

(PLACAS)

Identificador	:	Muro 30cm
Base	:	30 cm
Recubrimiento+ Estribo+ varilla/2	:	6.00 cm
Rigidez a Flexión	:	$0.50E_cI_g$
Rigidez a Corte	:	$0.40E_cA_w$
Rigidez Axial	:	$1.0E_cA_g$

LOSAS ALIGERADAS

(1 DIRECCIÓN Y 2 DIRECCIONES)

Identificador	:	Muro 30cm
Base	:	30 cm
Recubrimiento+ Estribo+ varilla/2	:	6.00 cm
Rigidez a Flexión	:	$0.50E_cI_g$
Rigidez a Corte	:	$0.40E_cA_w$
Rigidez Axial	:	$1.0E_cA_g$



3.4.3. Creación y asignación de patrones de carga

El paso siguiente es la creación de los tipos de carga que actuarán en el edificio que se definen mediante patrones de carga que se muestran a continuación.

- ✓ **Peso propio:** Lo proporciona y calcula el programa, llevará como nombre "Peso propio" y será de tipo "Dead"; no se asignará carga con éste patrón.
- ✓ **Carga Muerta:** Proporcionado por el peso del elementos y materiales que forman parte del edificio, tales como luminarias, acabados de cielo raso, piso terminado, tabiquerías internas como muros de subdivisión, etc. Su nombre será "CM" y será de tipo "Super Dead".
- ✓ **Carga Vida de Entrepiso:** Esta dado por los componentes móviles en el edificio, tales como, escritorios, mesas y sillas, estantes, mostradores, las personas, etc. Su nombre será "Live" y será del tipo "Reducible Live".
- ✓ **Carga Viva de Techo:** Generalmente considera el peso de las personas que intervendrán en la colocación de luminarias, acabados, colocación de coberturas e instrumentos. Su nombre será "LiveUp" y será de tipo "Live".

Entonces se crearon los patrones de carga de acuerdo al tipo de carga definido anteriormente y en la figura 3.15 se muestran los patrones de carga creados.

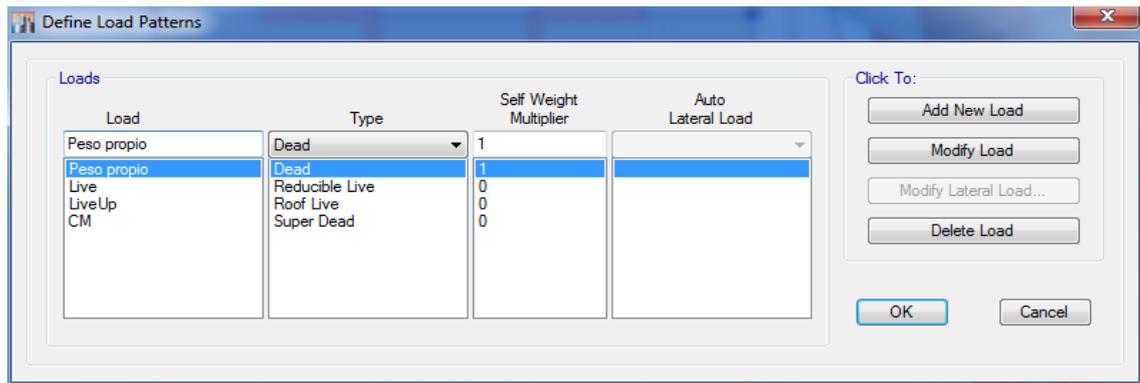


Figura 3.15. Patrones de carga creados, de acuerdo a la definición.

Fuente: Propia de los autores.

Aquí también podemos crear un patrón de carga sísmica que representará el cortante estático en la base del edificio y se calcula de manera automática. Para hacer esto creamos un patrón de carga de tipo “Seismic” llamado “Sx-estático”, que no representará el cortante estático en la dirección X de análisis, así como se muestra en la figura 3.16.

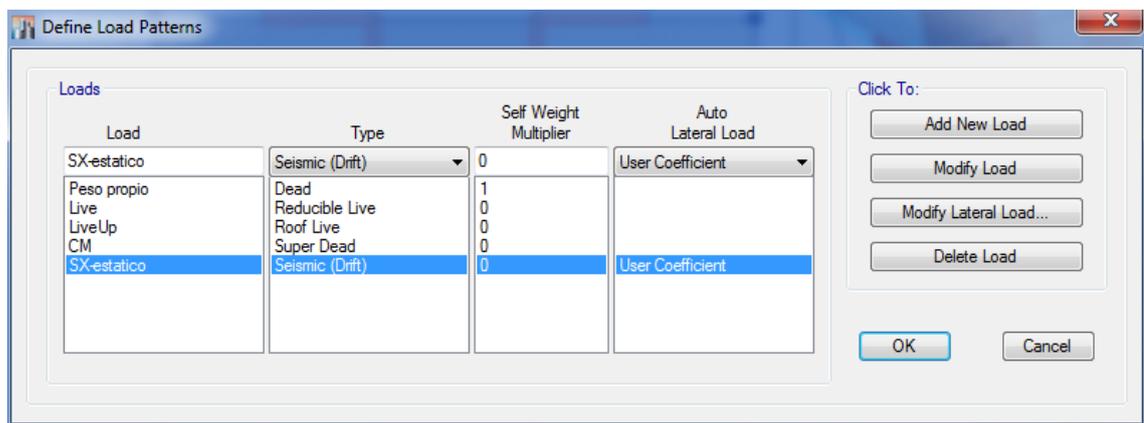


Figura 3.16. Patrones de carga sísmica estático.

Fuente: Propia de los autores.



Lo que nos está faltando es indicarle al programa que el patrón de carga sísmica creado está realmente orientado a la Dirección X, por lo tanto, modificaremos este patrón de carga mediante el botón “Modify Lateral Load” en la que se abrirá la ventana mostrada en la figura 3.17, lo cual la configuraremos de la manera que se indica

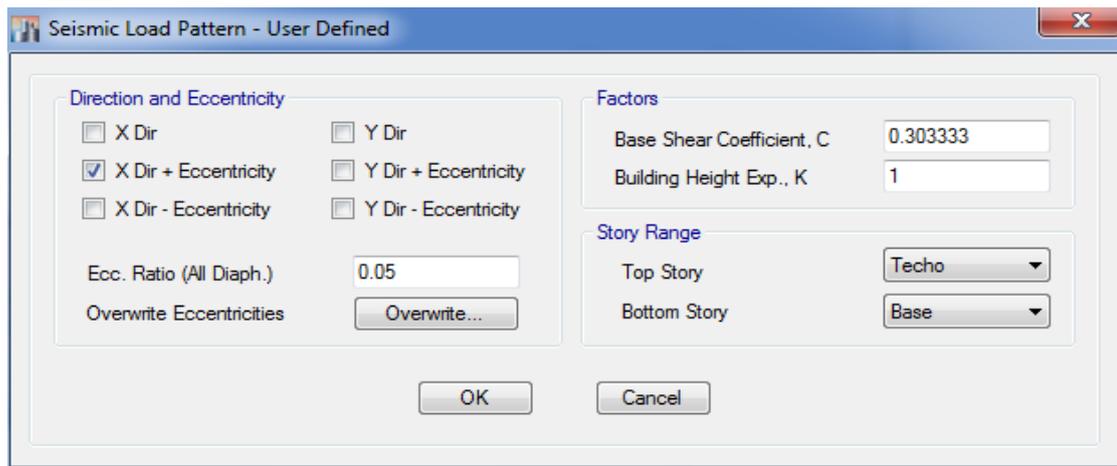


Figura 3.17. Definición del patrón de carga sísmica en la dirección X.

Fuente: Propia de los autores.

Una vez que tenemos creados los patrones de carga que necesitamos para este modelamiento, procedemos a asignar las cargas de acuerdo con el tipo de carga que se tiene. Los valores de carga se detallan en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Tipos de Cargas y Valores

Carga Tipo	Nombre	Valor (kgf/m ²)
Muerta	CM	370
Viva entrepiso	Live	500
Viva de Techo	LiveUp	100

En la figura 3.18 se muestra el modelamiento final de la edificación de 6 niveles.

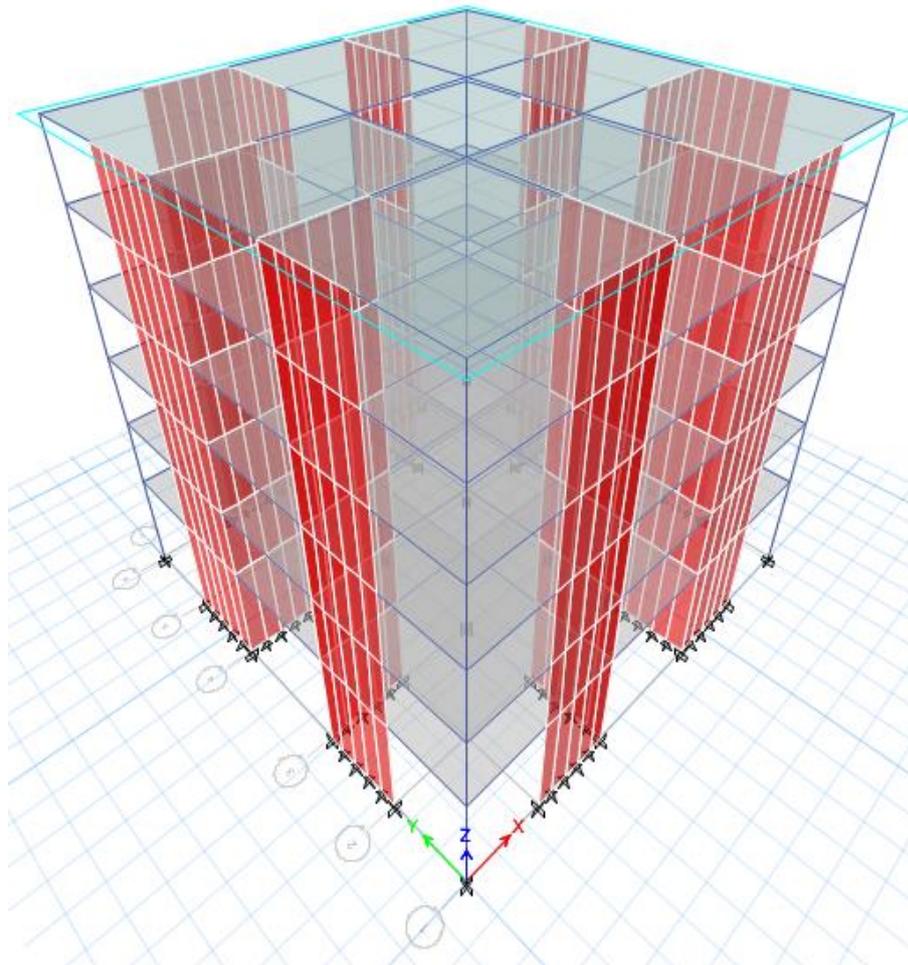


Figura 3.18. Vista 3D de la edificación de 6 niveles.

Fuente: Propia de los autores.



3.4.4. Cálculo del Peso Sísmico Efectivo según el RNE E.030

El peso sísmico efectivo del edificio se determina en concordancia con el Artículo 16.3 de la RNE E.030 que se presenta.

Como el edificio tendrá uno de centro comercial, entonces, de acuerdo con la Tabla N°3 del RNE E.030 de Diseño Sismoresistente, la categoría de edificación que le corresponde es del Tipo B. Luego, de acuerdo con lo anterior, debemos usar el ítem a. del Artículo 16.3.

A manera de fórmula, el peso sísmico efectivo del edificio, P , se determinará como:

$$P = (\text{Peso Propio} + CM) + 0.50\text{Live} + 0.25\text{LiveUP}$$

En ETABS, se define mediante la ruta del menú “define” a través del “Mass Source”, así como se indica en la figura 3.19.

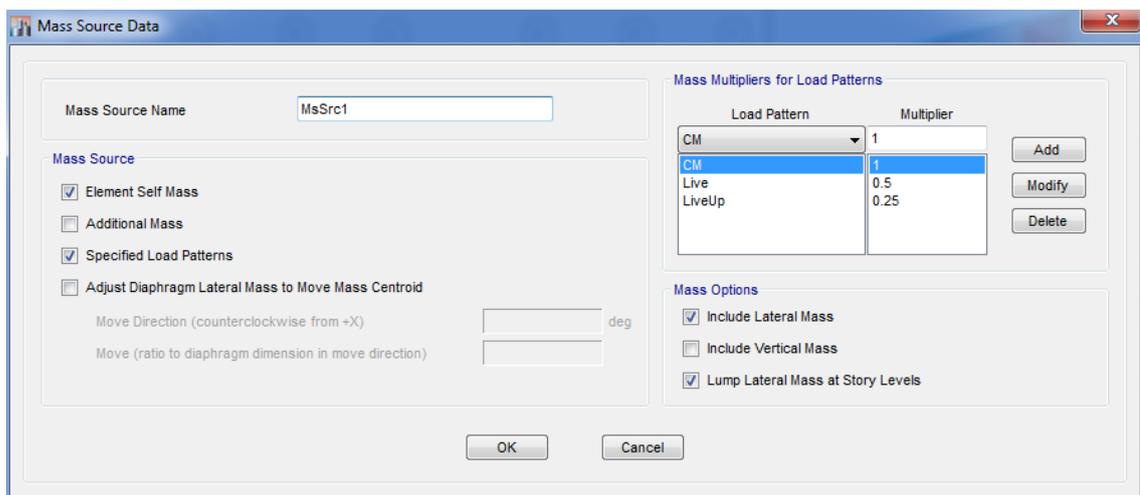


Figura 3.19. Comando para el cálculo del peso sísmico efectivo del edificio.

Fuente: Propia de los autores.



3.4.5. Incorporación del Espectro de Diseño

La incorporación del Espectro de Diseño obedece estrictamente a la aplicación del Artículo 18.2 en su ítem b, el cual depende de varios parámetros, tal como se indica a continuación.

$$S_a = \frac{ZUCS}{R}g$$

Z = es el factor de zona, el cual lo encontramos en la Tabla N°1 de la E.030. Para propósitos de este ejemplo, se supuso que el Edificio será construido en Chimbote, entonces:

$$\mathbf{Z = 0.4}$$

U = es el factor de uso, depende de la categoría de la Edificación, en este caso del Tipo B, y de acuerdo con la Tabla N°3 presentada anteriormente.

$$\mathbf{U = 1.3}$$

S = es el factor de suelo, que tiene que ver con el EMS, de acuerdo a las condiciones locales establecidas en la Tabla N°2, se supuso para este ejemplo un suelo tipo S3, por lo tanto

$$\mathbf{S = 1.4}$$

R = es el coeficiente de reducción de fuerza sísmica, que depende del sistema estructural y material predominante, como la mayor parte del sistema está compuesto por muros, se iniciará el análisis considerando que se trata de un sistema de Muros Estructurales, luego:



$$R = 6$$

C = es el factor de amplificación sísmica, que depende del periodo del edificio y del suelo. Como este valor depende de un periodo de tiempo T(s) y, el Espectro de Diseño se traza en función del tiempo, entonces, se puede generar una Tabla de Valores de S_a/g dependiente de C, entonces el Espectro de Diseño quedaría graficado tal como se indica en la Figura 3.20.

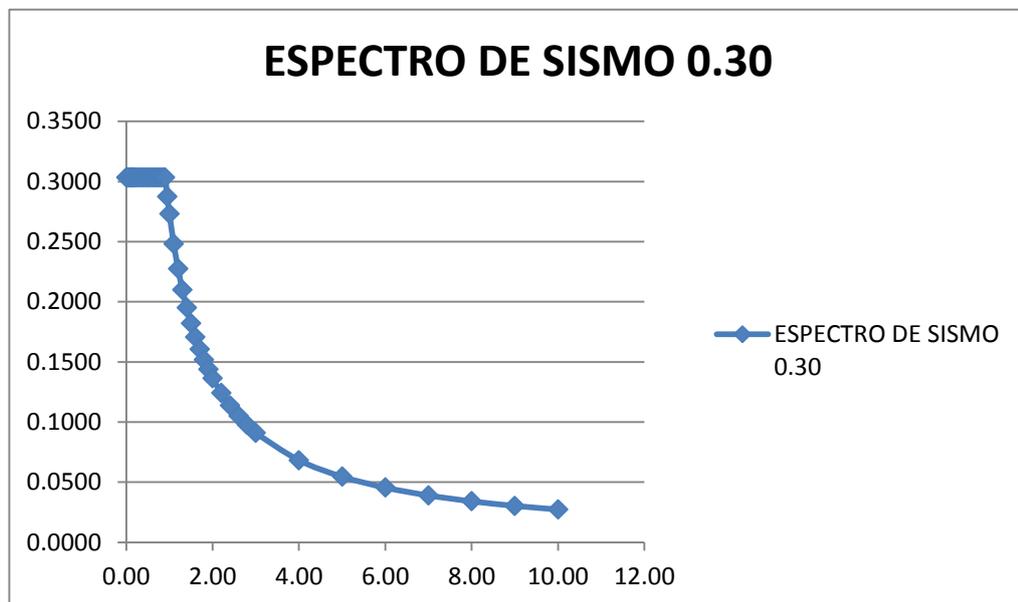


Figura 3.20. Espectro de diseño.

Fuente: Propio de los autores.

3.4.6. Cálculo del Cortante Estático en la Base

Para determinar el cortante estático en la base, V, del edificio, debemos recurrir a la expresión mostrada en el artículo 17.3 que mostramos a continuación:

$$V = \frac{ZUCS}{R} P$$



Además tiene que cumplir ésta condición:

$$\frac{C}{R} \geq 0.125$$

Para determinar el periodo fundamental se resuelve usando el Artículo 17.2 (a).

Para calcular el factor de amplificación sísmica, C, en concordancia con el tipo de suelo, mediante la expresión del Artículo 7 de la E.030.

$$C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right) \quad , \quad C \leq 2.5$$

3.4.7. Cálculo del Cortante Dinámico

Para determinar el Cortante Dinámico, producto de las aceleraciones espectrales y formas modales, aplicando combinaciones modales y direccionales de CQC y ABS. Definimos los patrones de carga como se muestra en la figura 3.21.

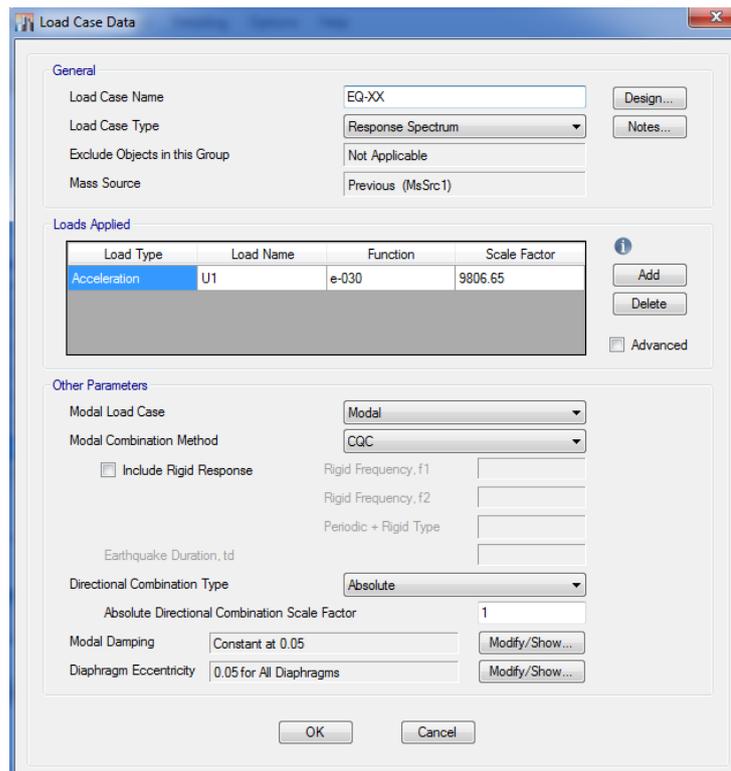


Figura 3.21. Definición de caso de carga dinámica en dirección X

Fuente: Propia de los autores.

3.4.8. Escalamiento de fuerzas para diseño

Para efectos de diseño, luego de haber calculado el cortante estático y dinámico en la base y su distribución por piso, el ítem c. del Artículo 18.2 nos indica lo siguiente:

De acuerdo con lo indicado, se tienen las siguientes reglas para escalar el cortante dinámico en la base a los porcentajes mínimos establecidos, entonces:

$$V_{DISEÑO-DINÁMICO} \geq \left\{ \begin{array}{l} 0.8V_{ESTÁTICO}, \text{ Regular} \\ 0.90V_{ESTÁTICO}, \text{ Irregular} \end{array} \right\}$$



3.4.9. Desplazamientos y Derivas de Piso

Para tener a seguridad de que nuestro edificio sea lo suficientemente rígido ante fuerzas laterales, esto es, que no se presenten desplazamientos excesivos en las principales direcciones de análisis, el Artículo 16.4.

De acuerdo a lo indicado,

$$\Delta_{inelástico-i} = 0.75R\Delta_{elástico-i}$$

Valores que para el caso de construcciones netamente de concreto, deben ser menores a 0.007. Para construcciones con otros materiales, la Tabla N° 8 de la E-030 nos proporciona distintos límites de derivas elásticas.

Nota: Todas las tablas usadas para el modelamiento estructural conforme al RNE se encuentra en el ANEXO 5.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES



CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Fibras de caucho reciclado

Los ensayos realizados al caucho reciclado se muestran a continuación.

4.1.1.1. Granulometría del caucho

La caracterización granulométrica queda reflejada en la Tabla 4.1 en donde se indica el porcentaje de las fracciones del caucho fino que pasan por los distintos tamices.

Tabla 4.1. Granulometría FCR-F

Mallas	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO %	RETENIDO ACUMULADO %	PASA %
Nº 4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
N`8	2.360	698.10	69.81	69.81	30.19
Nº 16	1.180	281.90	28.19	98.00	2.00
Nº30	0.600	20.00	2.00	100.00	0.00
Nº 50	0.300	0.00	0.00	100.00	0.00
Nº 100	0.150	0.00	0.00	100.00	0.00
fondo		0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		1000.00	100.00		

Fuente: Propio de los autores.

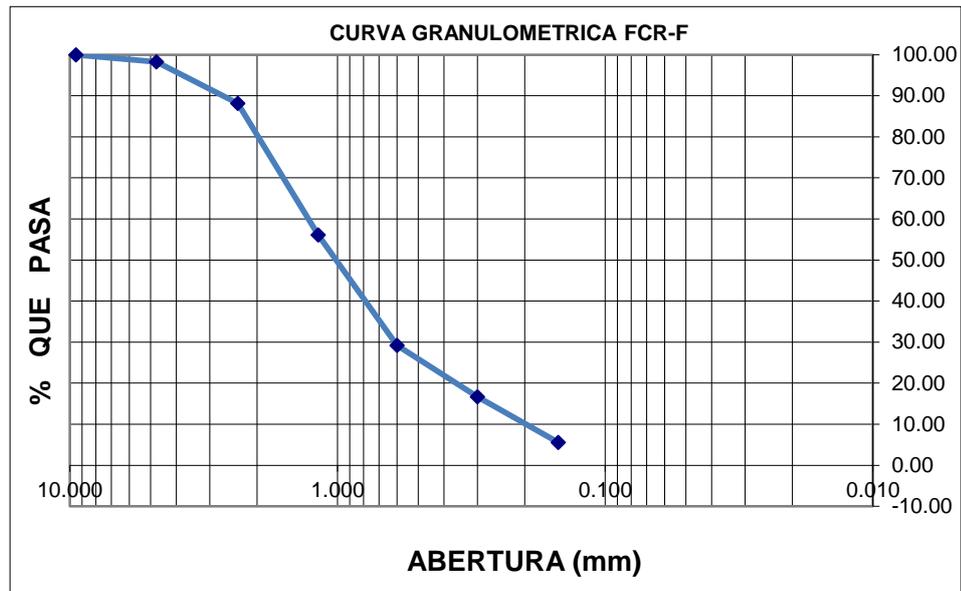


Figura 4.1. Granulometría FCR-F

Fuente: Propia de los autores.

La caracterización granulométrica queda reflejada en la Tabla 4.2 donde se indica el porcentaje de las fracciones del caucho grueso que pasan por los distintos tamices.

Tabla 4.2. Granulometría FCR-G

Mallas	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO %	RETENIDO ACUMULADO %	PASA %
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	512.30	73.19	73.19	26.81
3/8"	9.500	187.70	26.81	100.00	0.00
Nº 4	4.750	0.00	0.00	100.00	0.00
N`8	2.360	0.00	0.00	100.00	0.00
fondo		0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		700.00	100.00		

Fuente: Propia de los autores.

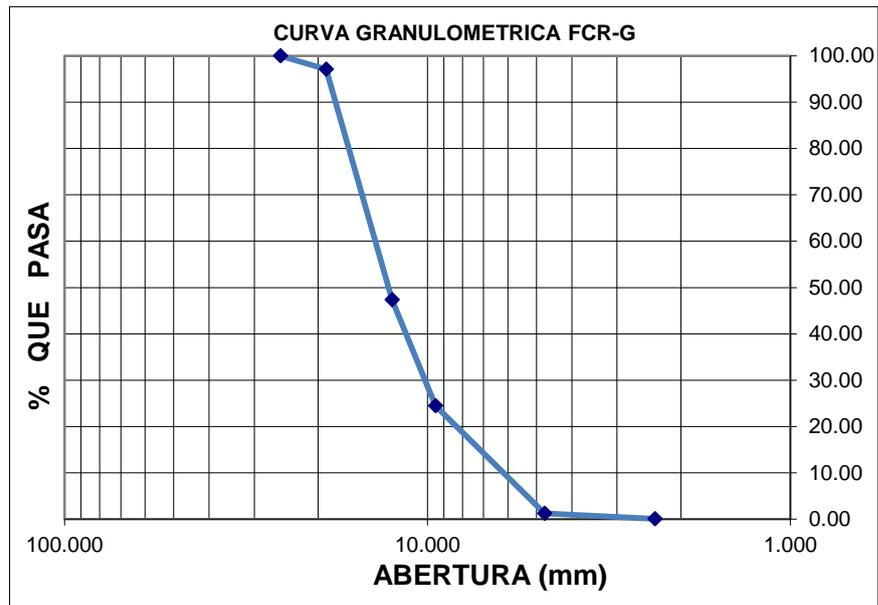


Figura 4.2. Granulometría FCR-G

Fuente: Propia de los autores.

4.1.1.2. Resultados de Ensayos Aplicados al Caucho

En la tabla 4.3 se muestra la densidad promedio del caucho.

Tabla 4.3. Densidad de las fibras de caucho

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Masa del caucho (gr.)	20.0	20.0	20.0
Volumen inicial del H ₂ O (ml.)	25.0	50.0	50.0
Volumen final del H ₂ O (ml.)	42.9	43.0	43.1
Volumen del caucho (ml.)	17.9	18.0	18.1
Densidad del caucho (gr/cm ³)	1.12	1.11	1.10

Fuente: Propia de los autores.

Entonces la densidad promedio del caucho es de **1.11 gr/cm³**.

Nota: En el caso de la absorción del caucho se le consideró cero, puesto que el poder de absorción de agua del caucho es muy bajo y también para fines didácticos.



4.1.2. Consistencia (asentamiento)

El ensayo de consistencia se realiza para determinar la oposición que presenta el concreto fresco a experimentar deformaciones. Se ha decidido utilizar el Cono de Abrams como método de ensayo de asentamiento.

A continuación se detallan los resultados en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Resultados del ensayo de consistencia

Tipo de concreto	Asentamiento	Aspecto del concreto
CP-S/C	7.8 cm	
C5%-FCR-F	8.1 cm	
C15%-FCR-F	8.7 cm	
C25%-FCR-F	10.6 cm	
C5%-FCR-G	8.3 cm	
C15%-FCR-G	9.2 cm	
C25%-FCR-G	11.9 cm	

Fuente: Propia de los autores.



4.1.3. Densidad, absorción y porosidad

El ensayo describe un método para la determinación de la densidad, porcentaje de absorción y, porcentaje de huecos en el concreto endurecido. Para ello, es necesario someter tres muestras de cada tipo de concreto a inmersión durante 24 horas y, a continuación, ha secado en una estufa a una temperatura entre 100 y 110 °C durante 24 horas más. Con éste procedimiento se obtiene la masa aparente en el agua, la masa saturada superficie seca y la masa seca, respectivamente, datos necesarios para poder determinar la densidad, absorción y porosidad del concreto endurecido.

El ensayo de densidad, porosidad y absorción se ha realizado siguiendo la UNE EN 12390-700:2000, NTP 400.021 y metodología interna del laboratorio.

A continuación se detallan los resultados en la Tabla 4.5.



Tabla 4.5. Resultados del ensayo de densidad, absorción y porosidad

Nomenclatura	Probetas	MS (gr)	MSSS (gr)	MAA (gr)	V (cm ³)	Ab (%)	Ds (gr/cm ³)	P (%)
CP-S/C	A	3901.3	4102.2	2469.8	1635.67	5.15%	2.385	12.31%
	B	3896.6	4096.4	2450.9	1648.80	5.13%	2.363	12.14%
	C	3907.5	4110.5	2461.6	1652.20	5.20%	2.365	12.31%
C5%-FCR-G	A	3861.6	4075.3	2433.0	1645.59	5.53%	2.347	13.01%
	B	3837.6	4046.6	2404.6	1645.29	5.45%	2.332	12.73%
	C	3848.4	4061.0	2421.5	1642.79	5.52%	2.343	12.97%
C15%-FCR-G	A	3691.2	3900.7	2278.8	1625.15	5.68%	2.271	12.92%
	B	3673.4	3889.4	2282.0	1610.62	5.88%	2.281	13.44%
	C	3675.0	3893.3	2279.7	1616.83	5.94%	2.273	13.53%
C25%-FCR-G	A	3553.1	3772.0	2149.4	1625.85	6.16%	2.185	13.49%
	B	3543.4	3761.1	2146.5	1617.84	6.14%	2.190	13.48%
	C	3546.6	3766.5	2151.6	1618.14	6.20%	2.192	13.62%
C5%-FCR-F	A	3886.1	4083.7	2426.9	1660.12	5.08%	2.341	11.93%
	B	3858.2	4053.0	2417.0	1639.28	5.05%	2.354	11.91%
	C	3870.0	4070.0	2422.7	1650.60	5.17%	2.345	12.14%
C15%-FCR-F	A	3708.9	3909.3	2292.4	1620.14	5.40%	2.289	12.39%
	B	3686.7	3895.4	2284.8	1613.83	5.66%	2.284	12.96%
	C	3691.2	3901.2	2290.0	1614.43	5.69%	2.286	13.03%
C25%-FCR-F	A	3574.0	3781.6	2170.5	1614.33	5.81%	2.214	12.89%
	B	3560.2	3770.0	2165.7	1607.52	5.89%	2.215	13.08%
	C	3563.1	3774.1	2171.9	1605.41	5.92%	2.219	13.17%

Fuente: Propia de los autores.



4.1.4. Resistencia a la Compresión

El concreto es un material que resiste solicitaciones de tracción y flexión, aunque destaca por su elevada resistencia a compresión. Determinar esta propiedad del concreto es el objetivo principal en prácticamente todos los estudios, dado que en la mayor parte de sus aplicaciones se hace uso de esta capacidad resistente frente a esfuerzos de compresión. Para este ensayo se utilizaron probetas cilíndricas de 30x15 cm.

El ensayo de resistencia a compresión se ha realizado siguiendo la NTP. 339.034. A continuación se muestra los ensayos con diferentes dosis de FCR realizados a los 28 días (véase en ANEXO 3.1).

Tabla 4.6. Resultados del ensayo de resistencia a compresión

Tipo de concreto	Probeta A (kgf/cm ²)	Probeta B (kgf/cm ²)	Probeta C (kgf/cm ²)	Promedio (kgf/cm ²)	Valor relativo (%)
CP-S/C	283.4	279.8	284.9	282.7	100.0%
C5%-FCR-F	265.4	260.3	261.5	262.4	92.8%
C15%-FCR-F	196.2	188.4	191.2	191.9	67.9%
C25%-FCR-F	162.8	152.4	158.5	157.9	55.9%
C5%-FCR-G	237.9	234.0	240.8	237.6	84.0%
C15%-FCR-G	174.0	176.3	172.3	174.2	61.6%
C25%-FCR-G	134.9	129.9	125.0	129.9	46.0%

Fuente: Propia de los autores.



Tabla 4.7. Probetas ensayadas a la resistencia a la compresión

Tipo de concreto	Días	Aspecto del concreto
CP-S/C	28	
C5%-FCR-F	28	
C15%-FCR-F	28	
C25%-FCR-F	28	



C5%-FCR-G	28	
C15%-FCR-G	28	
C25%-FCR-G	28	

Fuente: Propia de los autores.

4.1.5. Resistencia a Tracción por Compresión Diametral

El concreto presenta un comportamiento muy bueno a esfuerzos a compresión, pero su resistencia es diez veces inferior. La determinación de la resistencia a tracción pura del concreto es muy difícil de llevar a cabo debido a las tensiones secundarias que se suelen producir al realizar éstos ensayos. Para este ensayo se realizaron en probetas cilíndricas de 30x15 cm.

El ensayo a la tracción por compresión diametral se ha realizado siguiendo la NTP. 339.084.



A continuación en la tabla 4.8 se presenta los resultados del ensayo a tracción por compresión diametral del concreto con FCR a los 28 días de vida (véase en el ANEXO 3.3).

Tabla 4.8. Resultados del ensayo de resistencia a tracción indirecta

Tipo de concreto	Probeta A (kgf/cm ²)	Probeta B (kgf/cm ²)	Probeta C (kgf/cm ²)	Promedio (kgf/cm ²)	Valor relativo (%)
CP-S/C	28.8	29.5	27.6	28.6	100.0%
C5%-FCR-F	28.2	31.3	27.8	29.1	101.6%
C15%-FCR-F	24.6	26.7	26.8	26.0	90.8%
C25%-FCR-F	20.5	21.2	22.2	21.3	74.4%
C5%-FCR-G	29.9	29.4	26.8	28.7	100.1%
C15%-FCR-G	24.0	23.4	22.3	23.2	81.1%
C25%-FCR-G	21.1	20.9	19.6	20.5	71.7%

Fuente: Propia de los autores.

4.1.6. Módulo de Elasticidad Estático

Este ensayo describe un método para la determinación del módulo de elasticidad estático en compresión del concreto endurecido, más conocido como módulo de Young E, y permite medir la deformación que experimenta el hormigón al recibir una cierta tensión. Para este ensayo se realizaron en probetas cilíndricas de 30x15 cm. El ensayo del módulo de elasticidad se ha realizado siguiendo la norma ASTM C469.

A continuación en la tabla 4.9 se presenta los resultados del ensayo del módulo de elasticidad estático del concreto con FCR a los 28 días de edad (véase también en el ANEXO 3.2).



Tabla 4.9. Resultados del ensayo del módulo de elasticidad estático

Nomenclatura	Probetas	Ec kgf/cm ²	Ec-media kgf/cm ²
CP-S/C	P-1	271063	282223
CP-S/C	P-2	283159	
CP-S/C	P-3	292448	
C5%-FCR-F	P-4	271509	267274
C5%-FCR-F	P-5	267422	
C5%-FCR-F	P-6	262893	
C15%-FCR-F	P-7	264731	259706
C15%-FCR-F	P-8	269219	
C15%-FCR-F	P-9	245169	
C25%-FCR-F	P-10	212618	207919
C25%-FCR-F	P-11	212014	
C25%-FCR-F	P-12	199125	
C5%-FCR-G	P-13	289401	279349
C5%-FCR-G	P-14	274870	
C5%-FCR-G	P-15	273777	
C15%-FCR-G	P-16	236801	238739
C15%-FCR-G	P-17	249940	
C15%-FCR-G	P-18	229478	
C25%-FCR-G	P-19	185448	198727
C25%-FCR-G	P-20	211602	
C25%-FCR-G	P-21	199130	

Fuente: Propia de los autores.



4.1.7. Comportamiento al Fuego

Debido a la naturaleza del material reciclado se considera oportuno el conocimiento del comportamiento de estos concretos sometidos a altas temperaturas. Debido a que los incendios de caucho son extremadamente fuertes y emiten gran cantidad de humo y de productos peligrosos. En este proyecto se ha realizado una primera aproximación para poder determinar las cualidades de combustibilidad del concreto con FCR, sin embargo, se recomienda profundizar sobre el tema en próximos estudios. En general, el concreto puede mantener su color gris natural entre los 300 °C. Por tal motivo se realizaron los ensayos hasta esta temperatura.

El ensayo de reacción al fuego se ha realizado siguiendo el UNE-EN ISO 1182:2002[17] y el RNE A.130.

Procedimiento

En este proyecto, se ha querido estudiar el comportamiento del hormigón con FCR en relación al del concreto convencional sometido a altas temperaturas y, para ello, se han establecido dos puntos relacionados con la reacción del fuego de especial interés:

1. Afectación del concreto sometido a altas temperaturas en su resistencia a compresión.
2. Pérdida de peso de los concretos debido al aumento de temperatura.



Para determinar el primer aspecto, se ensayaron las probetas de concreto con FCR-F y FCR-G en donde a estos grupos se les aplicaba una subida de temperatura constante durante 2 horas, alcanzando al cabo de dicho tiempo los 300°C. A este procedimiento recibía el nombre de calentamiento lento por consiguiente se dejaron enfriar a temperatura ambiente para ser ensayadas a compresión.

Las probetas ensayadas con concreto de FCR-G quedaron muy afectadas por la acción de la temperatura sometida a calentamiento lento.

A continuación se muestran los resultados de pérdida de peso de los concretos con FCR en la Tabla 4.10 y los resultados de la resistencia a compresión de los concretos con FCR a 300° C durante 2 horas, con calentamiento lento, en la Tabla 4.11.



Tabla 4.10. Pérdida de peso de los concretos con FCR sometidos a 300 °C

Tipo de concreto	Probetas	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Pérdida de peso (gr)	Pérdida de peso medio (%)
CP-S/C	A	4119.0	3991.4	127.6	3.0%
	B	4115.1	3993.5	121.6	
C5%-FCR-F	A	4087.8	3952.6	135.2	3.3%
	B	4077.5	3946.3	131.2	
C15%-FCR-F	A	3977.5	3812.3	165.2	4.1%
	B	3984.8	3823.1	161.7	
C25%-FCR-F	A	3721.2	3538.7	182.5	4.8%
	B	3715.6	3544.0	171.6	
C5%-FCR-G	A	4046.0	3903.6	142.4	3.6%
	B	4056.4	3910.1	146.3	
C15%-FCR-G	A	3944.0	3776.0	168.0	4.3%
	B	3937.6	3768.8	168.8	

Fuente: Propia de los autores.

Tabla 4.11. Resistencia a compresión de los concretos con FCR a 300 °C

Tipo de concreto	Probetas	f'cr (kg/cm ²)	Pérdida de f'cr (%)
CP-S/C	A	273.62	2.36%
	B	278.45	
C5%-FCR-F	A	246.12	7.64%
	B	238.56	
C15%-FCR-F	A	172.32	12.41%
	B	163.87	
C25%-FCR-F	A	115.14	29.83%
	B	106.45	
C5%-FCR-G	A	217.86	10.71%
	B	206.45	
C15%-FCR-G	A	151.24	15.61%
	B	142.75	

Fuente: Propia de los autores.



4.1.8. Microestructura

Para poder conocer los parámetros que afectan a las resistencias mecánicas del concreto es necesario estudiar su microestructura y analizar las uniones de los diferentes componentes. El concreto convencional está formado por tres fases principales: los áridos, la pasta de cemento que une a los áridos y, la zona de transición formada por la interface entre la pasta y el árido.

A continuación se muestran fotografías 4.1 y 4.2 tomadas para el análisis y adherencia de las FCR-F y FCR-G en el concreto.



**Fotografía 4.1. Interface entre FCR-G
y la pasta de cemento.**

Fuente: Propio de los autores.



**Fotografía 4.2. Interface entre FCR-F
y la pasta de cemento.**

Fuente: Propia de los autores.



4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Consistencia

La trabajabilidad es una característica esencial del concreto que se mide en estado fresco del mismo. Por lo que se discutió la influencia del porcentaje de FCR en la consistencia del concreto y la influencia en su segregación, en donde se detalla continuación.

4.2.1.1. Influencia del porcentaje de FCR en la consistencia de las mezclas de concreto.

La medida del asentamiento predice si una mezcla puede ser utilizada o no para la aplicación en la construcción. La mezcla de concreto en estado fresco debe ser lo más homogénea posible y no debe contener vacíos.

En la figura 4.3 se muestran los valores del asentamiento de la mezcla de concreto patrón (CP-S/C) y la mezcla de concreto con FCR-F.

Se observa que el asentamiento aumenta en 0.3 cm para C5%-FCR-F, en 0.9 cm para C15%-FCR-F, en 2.8 cm para C25%-FCR-F con respecto al CP-S/C.

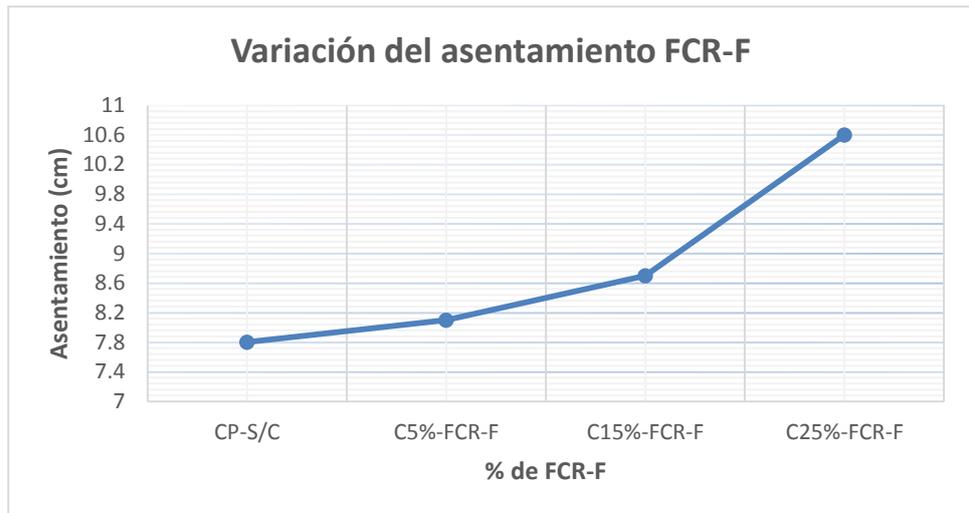


Figura 4.3. Asentamiento de la mezcla en porcentajes de FCR-F.

Fuente: Propio de los autores.

En la figura 4.4 se muestran los valores del asentamiento de la mezcla de concreto patrón (CP-S/C) y la mezcla de concreto con FCR-G.

Se observa que el asentamiento aumenta en 0.5 cm para C5%-FCR-G, en 1.4 cm para C15%-FCR-G, en 4.1 cm para C25%-FCR-G con respecto al CP-S/C.

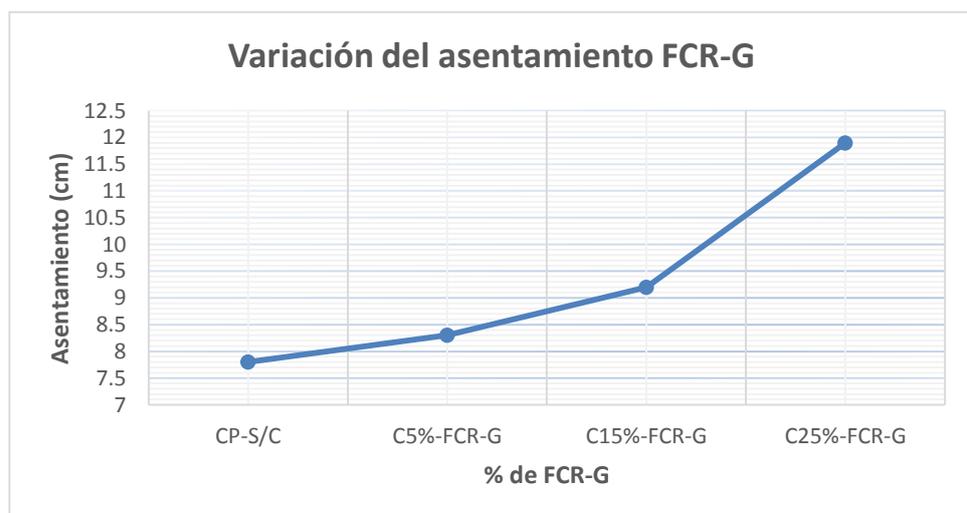


Figura 4.4. Asentamiento de la mezcla en porcentajes de FCR-G.

Fuente: Propia de los autores.



Este aumento del asentamiento excesivo se debe a la presencia de FCR-F y FCR-G en gran cantidad que producen un aumento en la fluidez de la mezcla.

Los resultados obtenidos muestran que la trabajabilidad del concreto fue poco afectado por la adición del caucho reciclado, debido a que una de las preocupaciones al agregar las FCR a la mezcla, era si la trabajabilidad del concreto sería afectada negativamente, pero para valores superiores al 15% de inclusión de caucho en la mezcla, sí se produjo una variación considerable en el valor del asentamiento.

Este aumento de fluidez de la mezcla, se debe a que la densidad del caucho es menor a la densidad de la arena y de la grava, por lo que ocupa mayor volumen. Además se puede afirmar que mientras más grande sea la partícula de caucho mayor será su fluidez, debido a que el caucho es un material en que su absorción tiende a cero.

4.2.1.2. Segregación de la mezcla a distintos porcentajes de FCR

La segregación del concreto es un problema, porque el concreto no es un material homogéneo sino agregado de materiales componentes que varían mucho respecto al tamaño y la gravedad específica. Se debe tener un cuidado especial en evitar los defectos debidos a la segregación cuando la mezcla de concreto es muy pobre en cemento, está muy húmeda, contiene agregados muy ásperos que no son de forma cúbica o esférica, o el tamaño máximo



del agregado es grande en comparación con las dimensiones del miembro que se va a formar.

Las mezclas de concreto realizadas con FCR, forman un material compuesto, en donde el concreto matriz y el material reciclado es la fase dispersa. Las propiedades del material compuesto dependen de las propiedades de las fases que lo conforman, sus características relativas y la geometría de la fase dispersa. La segregación es un ensayo visual realizado en estado fresco del concreto, que permite identificar si el material reciclado (fase dispersa) agregado a la mezcla de concreto tiende a separarse de su matriz.

4.2.2 Densidad, absorción y porosidad

De los resultados obtenidos de la tabla 4.5 se puede inferir que la densidad del concreto con FCR-F y FCR-G tiende a disminuir, debido a que el caucho tiene una densidad mucho menor a la densidad de los áridos.

Se muestra en el figura 4.5 la disminución de densidad del concreto patrón en relación con el concreto de fibras de caucho reciclado fino, en donde el porcentaje de pérdida para C5%-FCR-F es de un 1.05%, para el C15%-FCR-F con una pérdida del 3.56% y para el C25%-FCR-F es de un 6.54% en relación al CP-S/C.

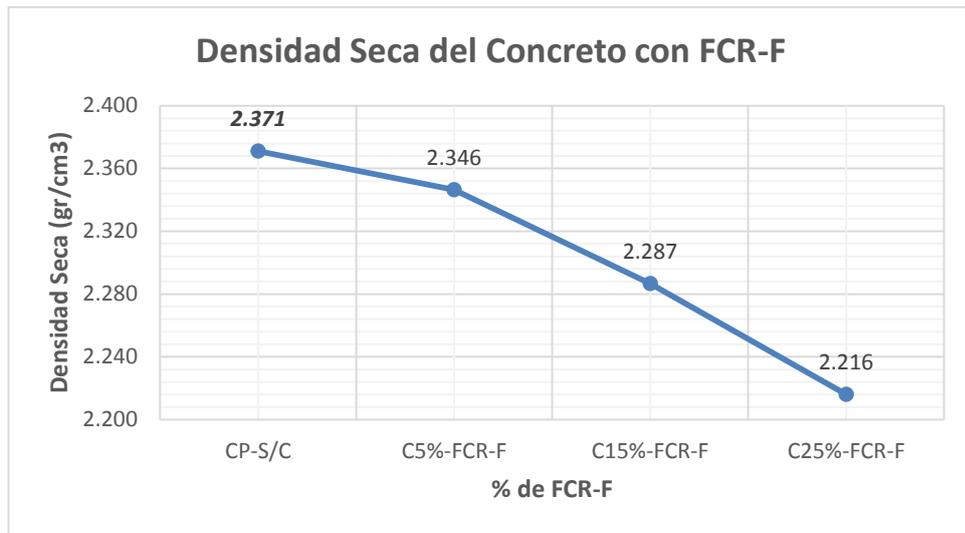


Figura 4.5. Resultados del ensayo de densidad seca FCR-F

Fuente: Propia de los autores.

Se muestra en el figura 4.6 la disminución de densidad del concreto patrón en relación con el concreto de fibras de caucho reciclado grueso, en donde el porcentaje de pérdida para C5%-FCR-G es de un 1.29%, para el C15%-FCR-F con una pérdida del 4.06% y para el C25%-FCR-F es de un 7.68% en relación al CP-S/C.

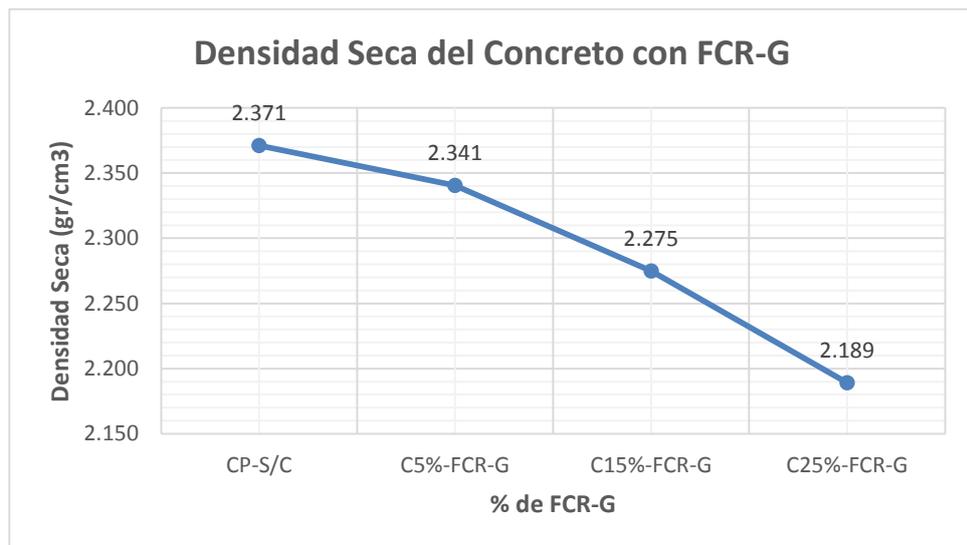


Figura 4.6. Resultados del ensayo de densidad seca FCR-G

Fuente: Propia de los autores.



A continuación se muestran las figuras 4.7 y 4.8, donde representan la absorción de las diferentes muestras de concreto. En donde la incorporación de FCR favorece la aparición de aire en el estado fresco del concreto debido a la mínima disminución de adherencia entre el caucho y la pasta de cemento. Como consecuencia directa de esto, los concretos fabricados con FCR ofrecen una mayor absorción y porosidad, aumentando éstas con el tamaño del caucho.

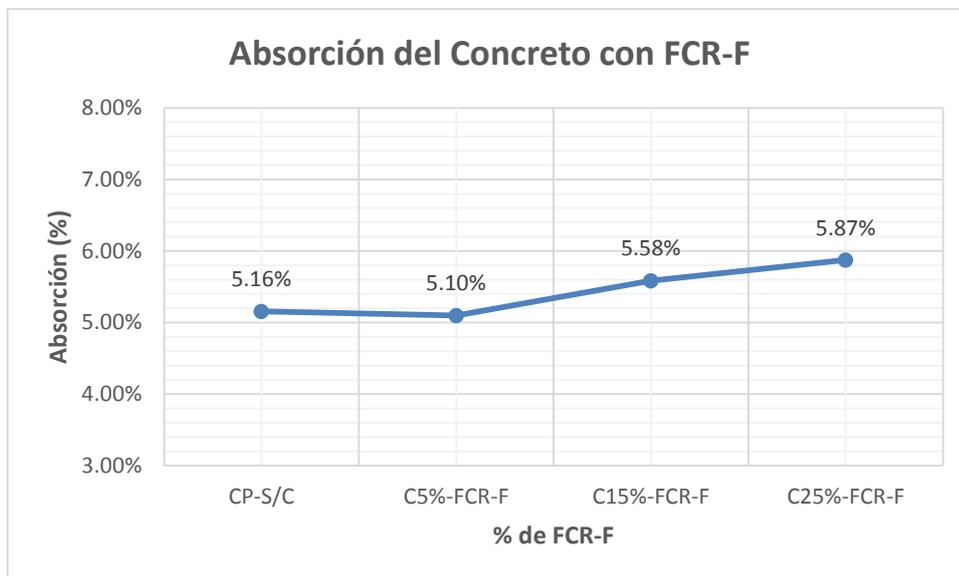


Figura 4.7. Resultados del ensayo de absorción FCR-F.

Fuente: Propia de los autores.

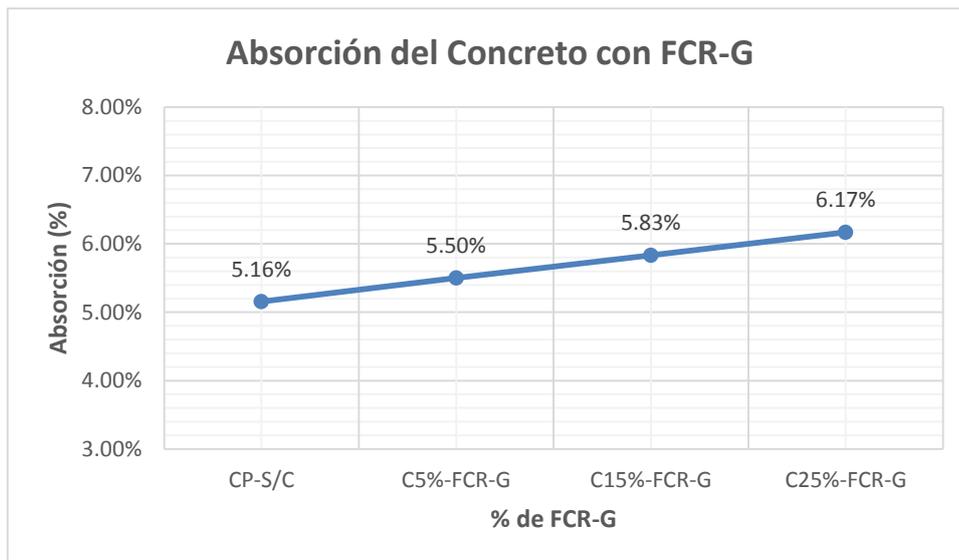


Figura 4.8. Resultados del ensayo de absorción FCR-G.

Fuente: Propia de los autores.

De acuerdo a los resultados, cuando se añade caucho reciclado a la mezcla de concreto, este tiene la propiedad de crear espacios intersticiales, que permiten atrapar el agua y evitar la pérdida de la misma en el proceso de curado, y mientras más caucho añadido más aumenta la capacidad de retención de agua.

Se muestran las figuras 4.9 y 4.10 la porosidad del concreto y del concreto con FCR-F y FCR-G.

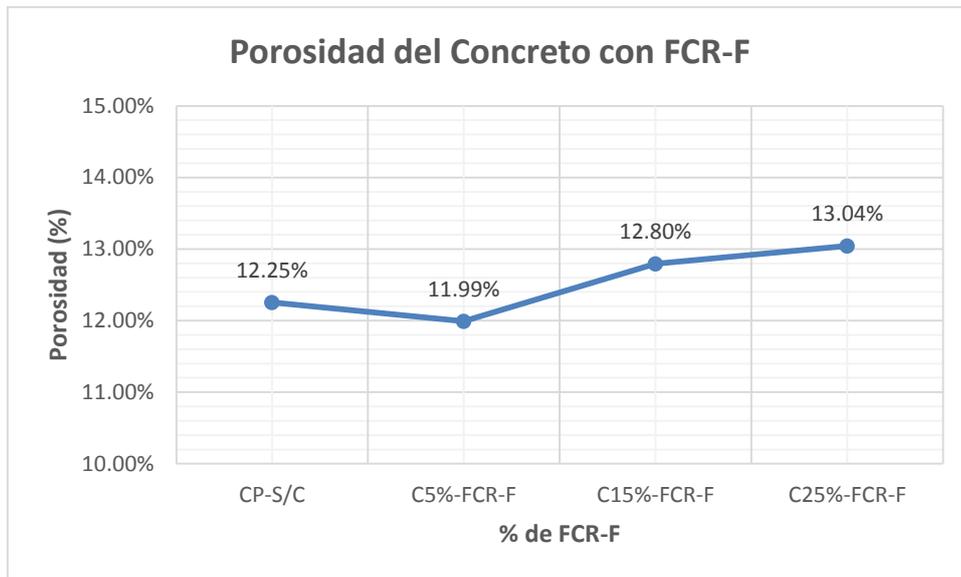


Figura 4.9. Resultados del ensayo de porosidad FCR-F.

Fuente: Propia de los autores.

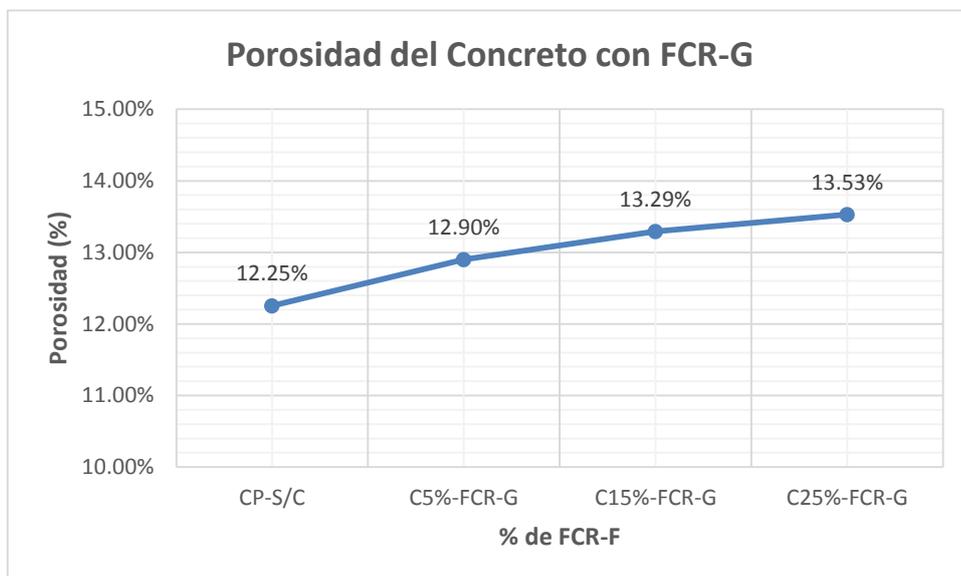


Figura 4.10. Resultados del ensayo de porosidad FCR-G.

Fuente: Propia de los autores.

5.2.3. Resistencia a la Compresión

Este ensayo se realizó a los 7, 14 y 28 días de curado a temperatura ambiente. En la figura 4.11 se muestran los valores de la resistencia a la compresión obtenidos para mezclas de concreto a los diferentes porcentajes de caucho reciclado. Se observa una tendencia a la disminución de la resistencia a la compresión con la sustitución de caucho reciclado a partir de los 14 y 28 días de curado de las mezclas en comparación del concreto patrón sin caucho. (véase también en el ANEXO 3.1).

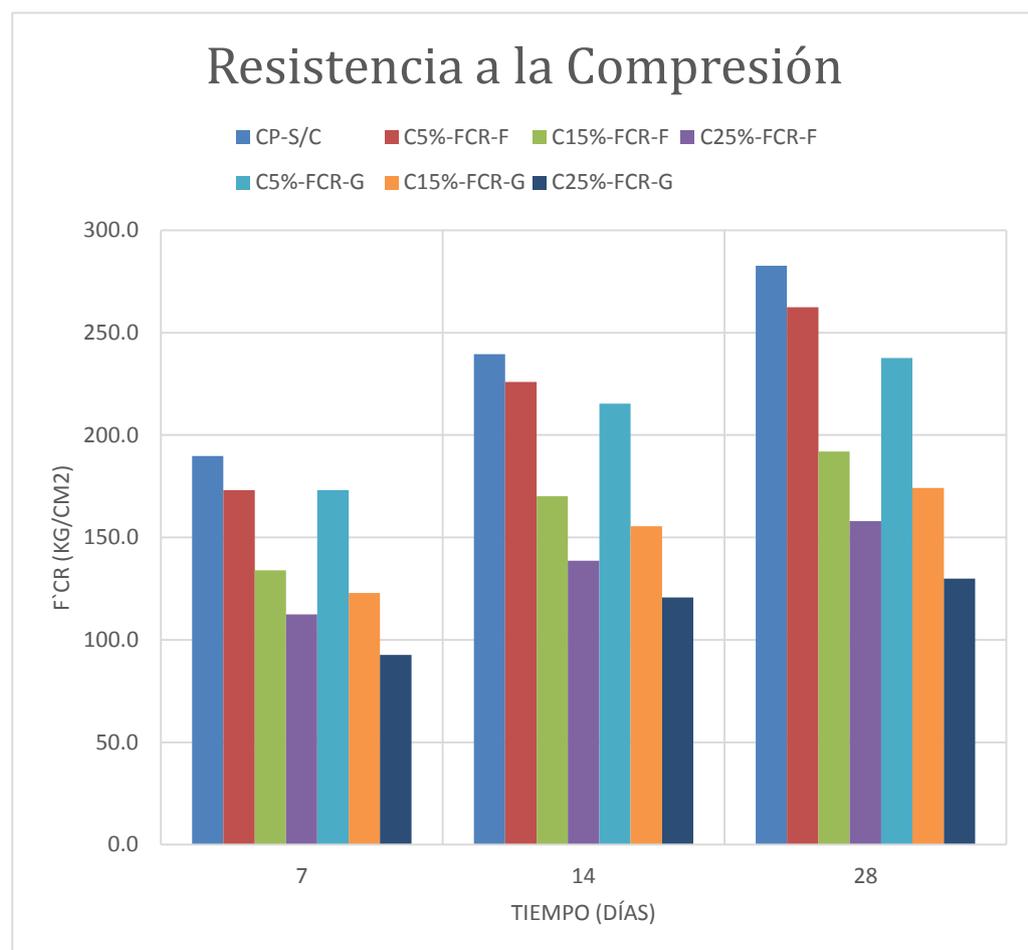


Figura 4.11. Resultados de la resistencia a la compresión.

Fuente: Propia de los autores.



De las figuras se puede inferir que las partículas de caucho originan mayores espacios intersticiales que se encuentran probablemente llenos de agua, por lo que produce una pérdida en la resistencia a la compresión. Es importante destacar que el valor esperado de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos para los 28 días de curado según el método ACI-211, está alrededor de los 294 kg/cm² por lo cual el valor de la resistencia a la compresión para esta edad, obtenido para el CP-S/C fue de 282.7 kg/cm², esto indica que tenemos un cemento de alta calidad y procedimiento experimental de ensayo bastante aceptable.

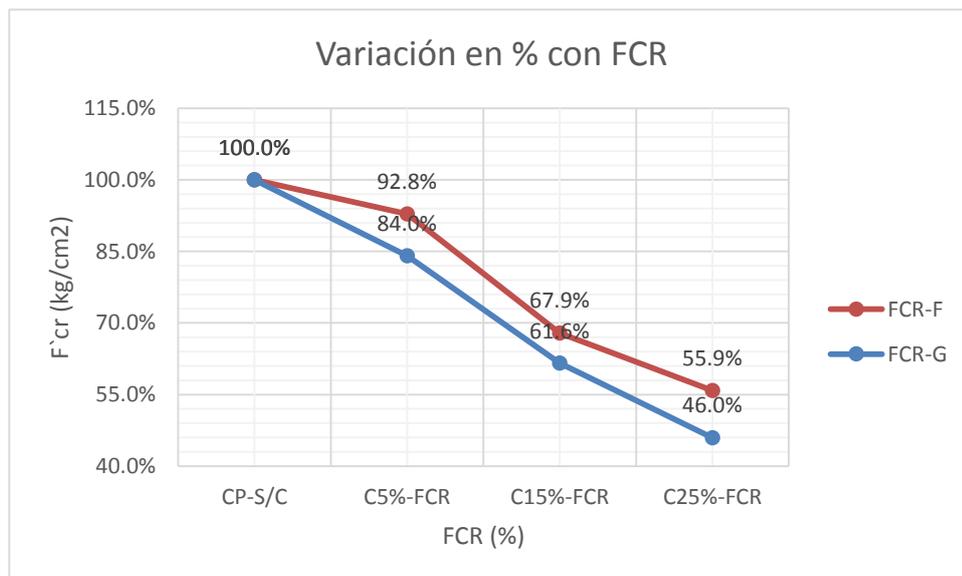


Figura 4.12. Porcentaje de variación a compresión a 28 días de edad.

Fuente: Propia de los autores.

Por otro lado, se observa en la Fig. 4.12, que se puede incorporar a la mezcla de concreto hasta un 5% de contenido de caucho reciclado sin que ésta sufra una drástica disminución de la resistencia a la compresión, siendo este el porcentaje óptimo permisible para adicionarle



a la mezcla. Como se mencionó anteriormente, la inclusión de caucho produce vacíos en la mezcla, debido al enlace débil entre el mismo y la matriz del concreto, por lo tanto el aumento de este material produce un incremento en el contenido de vacíos produciendo así una disminución correspondiente a la fuerza neta de la matriz de concreto.

También, la disminución del valor de la resistencia a la compresión se debe a que el caucho es más elástico y deformable que la matriz, por lo cual al momento de someterse a una fuerza compresiva, las grietas se forman primero en las áreas más suaves, que sería el sitio de la inclusión del caucho.

4.2.4. Resistencia a Tracción por Compresión Diametral

En los ensayos de resistencia a la compresión y de resistencia tracción en el momento de la rotura, el comportamiento era distinto dependiendo de la mezcla, ya que cuando las probetas no contenían caucho producían un ruido estruendoso, lo que no sucedía con las muestras sin caucho (evaluación auditiva). Esto se debe a que los especímenes con caucho mostraban una alta capacidad para absorber energía plástica. Dichas probetas ensayadas soportaron cargas post-fractura y manifestaron desplazamientos significativos, los cuales son parcialmente recuperables. Así la masa de concreto es capaz de soportar cargas aunque esté fracturada. Esto debido a que el caucho tiene la habilidad de experimentar grandes deformaciones elásticas antes de la falla (véase en el ANEXO 3.3).

En la figura 4.13 se observa los resultados del ensayo de resistencia a tracción indirecta.

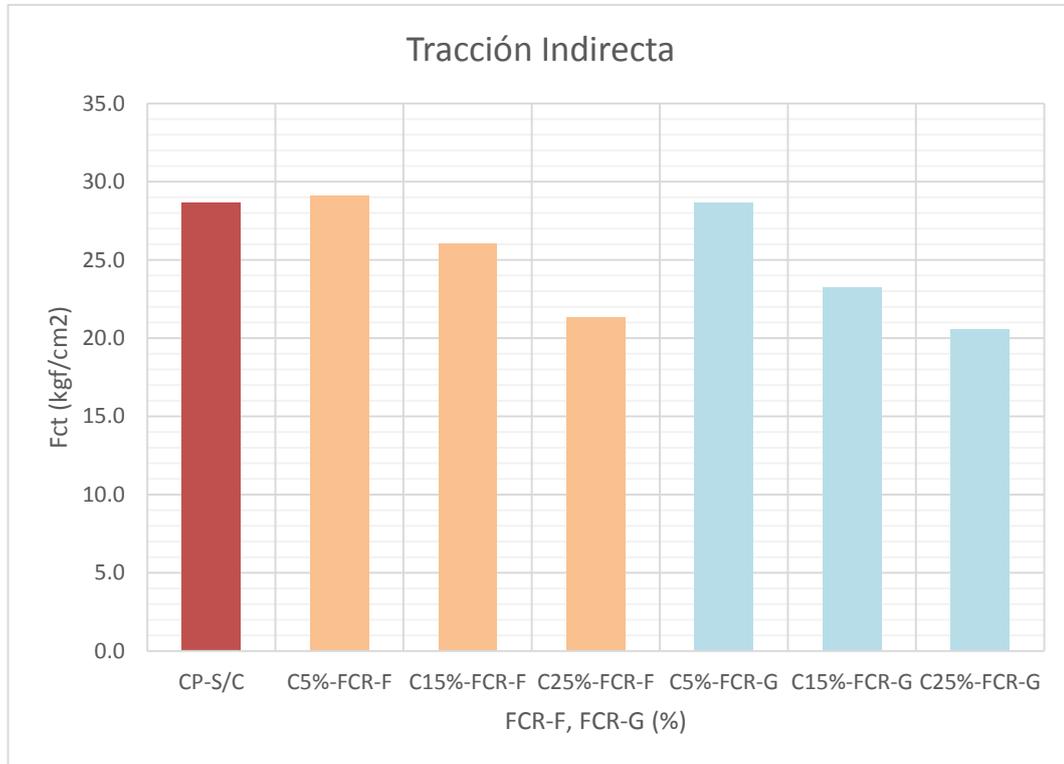


Figura 4.13. Resultados de la resistencia a tracción indirecta a 28 días de edad.

Fuente: Propia de los autores.

En la figura 4.14 se observa la variación en porcentaje de los concretos con FCR-F y FCR-G con respecto al CP-S/C.

De los resultados obtenidos se puede afirmar que, la introducción de caucho al 5% del volumen del árido, ya se fino o grueso, aumenta la resistencia a la tracción del concreto. Esto puede ser debido a que el caucho es un material mucho más dúctil que el árido y, en pequeñas cantidades, puede mejorar las propiedades elásticas del concreto sin perjudicar la adherencia entre las FCR y la pasta de cemento. Esta elasticidad se ha podido observar en las probetas ensayadas, ya que cuando rompían a tracción se fracturaban a lo largo de su plano diametral



pero sin llegar a separarse en dos partes. En el caso de los concretos con FCR de 15% y 25% disminuye la resistencia a tracción respecto al concreto patrón.

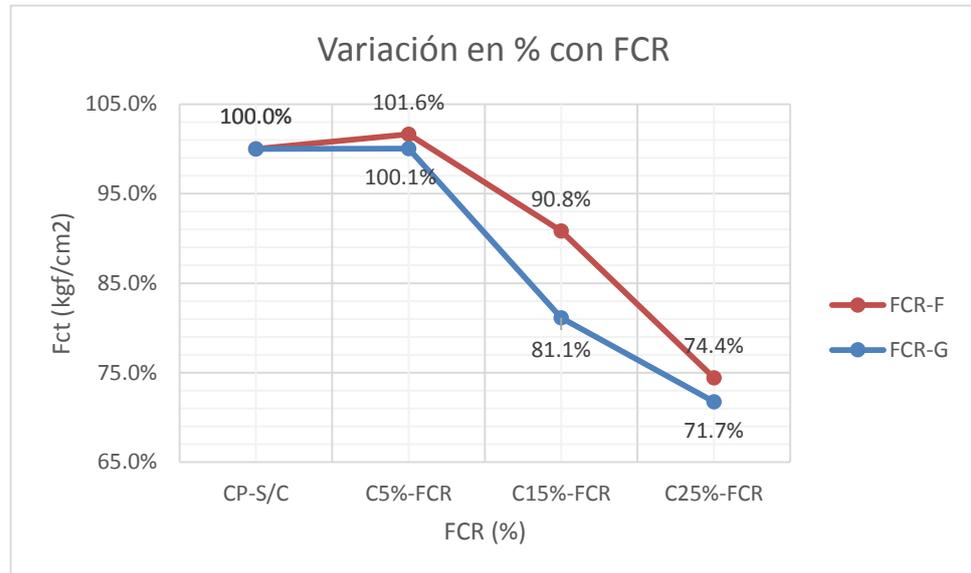


Figura 4.14. Porcentaje de variación de la resistencia a la tracción indirecta del concreto con FCR.

Fuente: Propia de los autores.

Analizando los datos de la Fig. 4.14 más detalladamente, se puede observar un pequeño incremento de la resistencia en los concretos con FCR-F, respecto a los concretos con FCR-G. Esto puede ser debido a que el grano fino tiene una mejor adherencia con la pasta ya que tiene una geometría mucho más angulosa, consiguiendo un recubrimiento de prácticamente toda su superficie por la pasta de cemento, a pesar de no ser tan buena como la adherencia entre el árido y la mezcla.



4.2.5. Módulo de Elasticidad

Los concretos con FCR tienden a disminuir su módulo de elasticidad estático a medida que aumenta el contenido de éste. Como se ha visto antes, el árido tiene un módulo de elasticidad superior al de la pasta de cemento. Al sustituir parte del volumen de este árido por un material mucho más elástico como es el caucho, disminuye su módulo de Young. El concreto con FCR tiene una gran facilidad para deformarse en presencia de una sollicitación de compresión, creando unas tensiones internas que favorece la aparición de microfisuras entre el árido y la pasta de cemento. En los resultados obtenidos en la Fig. 4.15 se aprecia que el módulo de elasticidad estático no varía en gran medida para concretos con 5% de FCR, por lo que mientras mayor sea el porcentaje de sustitución de caucho, el módulo de elasticidad tiende a disminuir (véase en ANEXO 3.2).

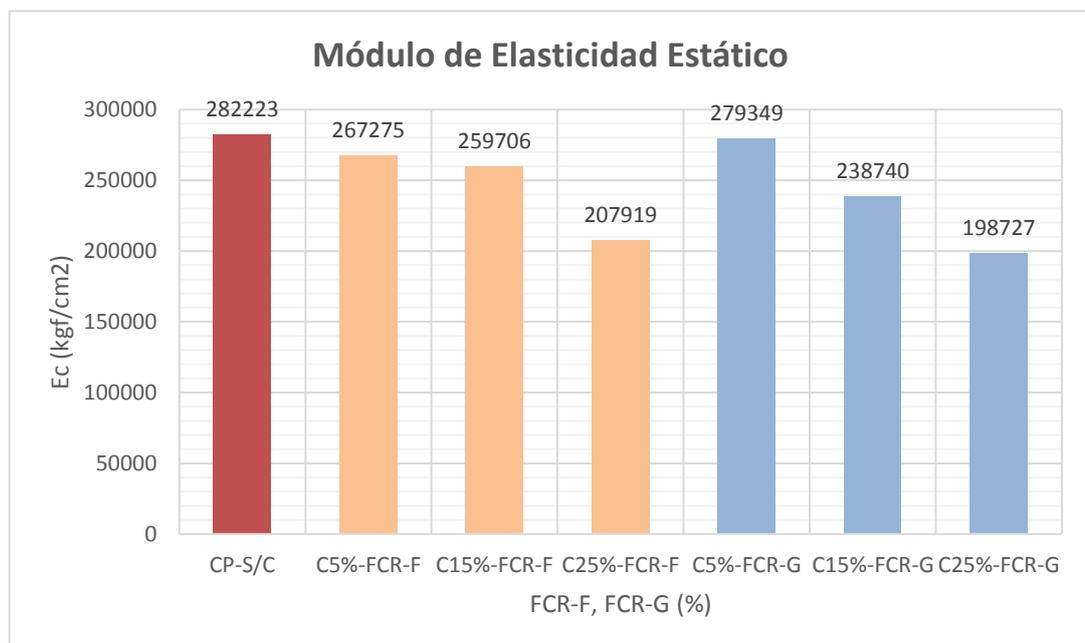


Figura 4.15. Resultados del módulo de elasticidad estático a 28 días de edad.

Fuente: Propia de los autores.



Analizando el factor constante de la fórmula del RNE E-060 (8.5.1), éste factor tiende a subir conforme se le sustituya caucho por los áridos, por lo que la resistencia a compresión no es dato predominante para que módulo de elasticidad estático disminuya de manera proporcional a la resistencia a la compresión.

En la figura 4.16 se muestran las variaciones en porcentajes de la disminución del módulo de elasticidad estático del concreto con FCR con respecto al CP-S/C.

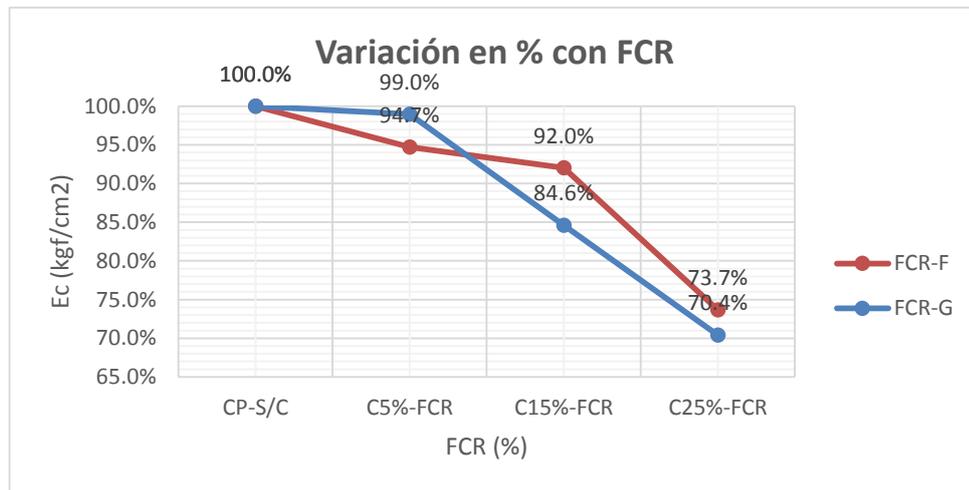


Figura 4.16. Variación del módulo de elasticidad estático.

Fuente: Propia de los autores.

4.2.6. Comportamiento al Fuego

Se determinó que las probetas ensayadas a 300° C fueran utilizadas también para determinar la pérdida de peso como consecuencia del aumento de la temperatura. Para ello, se anotaron los pesos de cada una de las probetas instantes antes de someterlas al ensayo de comportamiento al fuego y 1 hora después de la finalización del mismo.

(véase en la Figura 4.17 la pérdida de pesos del concreto con FCR y en la Figura 4.18 el porcentaje de variación de pérdida de peso).

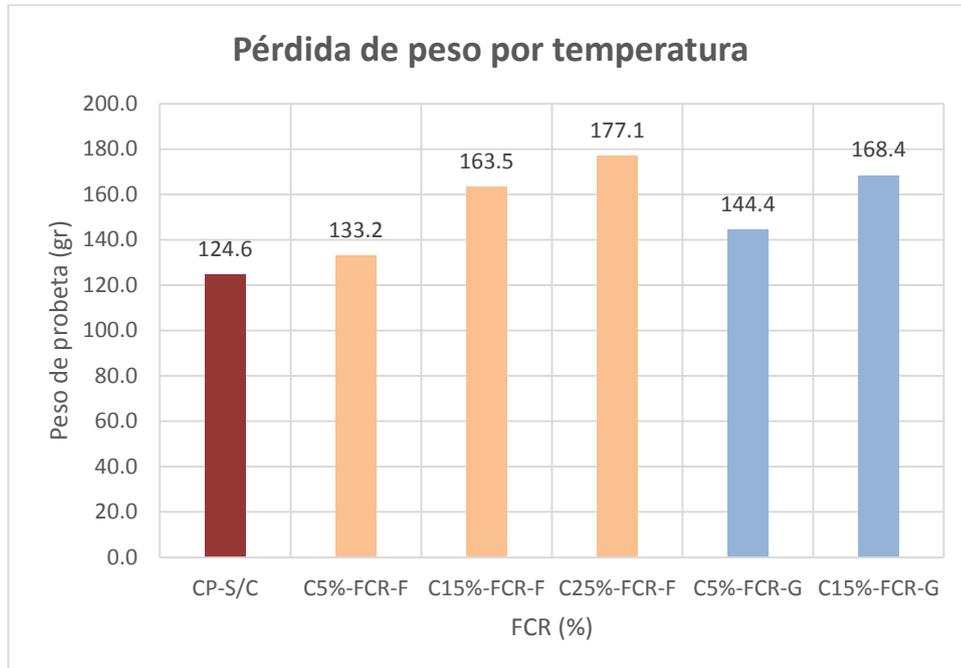


Figura 4.17. Ensayo de temperatura del concreto a 28 días de edad.

Fuente: Propia de los autores.

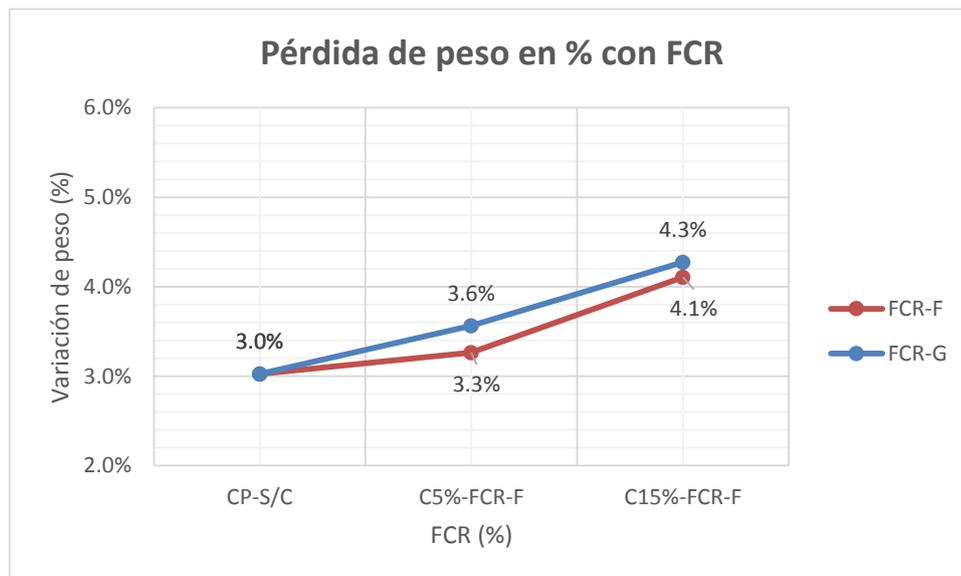


Figura 4.18. Variación del peso en % por acción de la temperatura.

Fuente: Propio de los autores.



También hubo reacciones inesperadas cuando se ensayaron las probetas a 300°C. Los concretos con FCR-G en este caso no inflamaron, pero quedaron gravemente afectados como se observa en la Foto26(d) (véase en el ANEXO 6). Las probetas fueron extraídas con mucha dificultad del horno para no causarles ningún daño, en especial los concretos con C25%-FCR-G, ya que todos los intentos fueron inútiles, porque se fraccionaban por las zonas donde había algún grano de caucho, imposibilitando y/o dificultando su posterior pesada y ensayo a la resistencia a la compresión.

Tal como era de esperar la pérdida de peso es mayor en las probetas con mayor porcentaje caucho de acuerdo a los resultados recogidos. Hay que recordar que las probetas C25%-FCR-G, debido a que se rompieron durante su manipulación, no han sido consideradas en este análisis.

Los cambios en la temperatura y la humedad producen expansiones y contracciones en el concreto que fatiga al material por lo que la resistencia a la compresión disminuye. La Foto26(b) (véase en el ANEXO 6), indican claramente que las probetas que tienen un mayor contenido de caucho presentan un aspecto mucha más deteriorada así como una mayor disminución en sus propiedades mecánicas (el C25%-FCR-G fue posible romperlo con algunos golpes). Además en la Foto26(d) (véase en el ANEXO 6), se aprecia el cambio de color, de gris a tonos cobrizos, siendo de mayor intensidad el de 25% de FCR, lo que quiere decir que el concreto está bastante deshidratado para esta

temperatura, volviéndose frágil y esto produce una disminución a la resistencia a la compresión, entre otras desmejoras. En la Figura 4.19 y 4.20 se detalla el comportamiento del concreto frente a la acción de la temperatura.

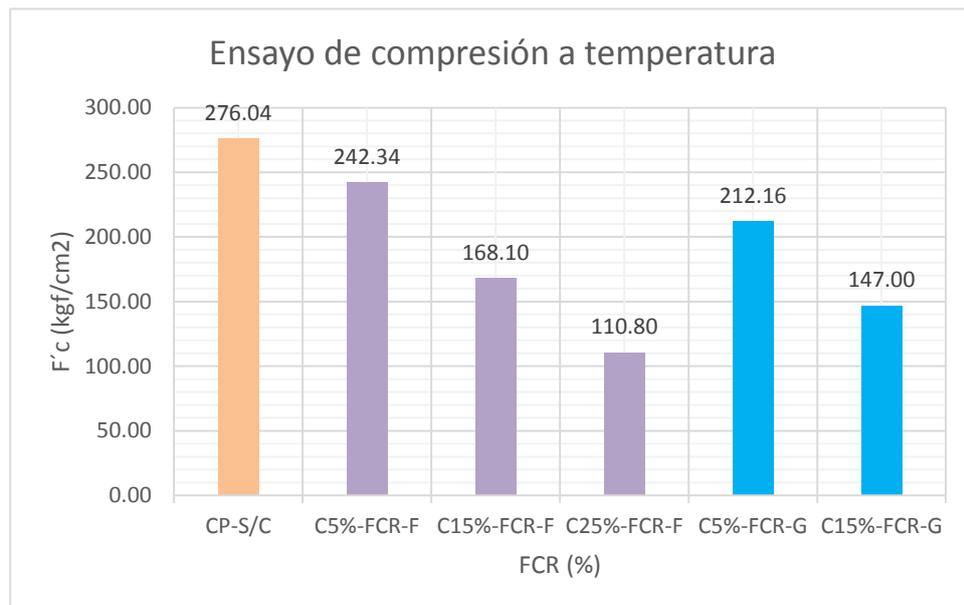


Figura 4.19. Resistencia a la compresión del concreto sometido a 300 °C a 28 días de edad.

Fuente: Propia de los autores.

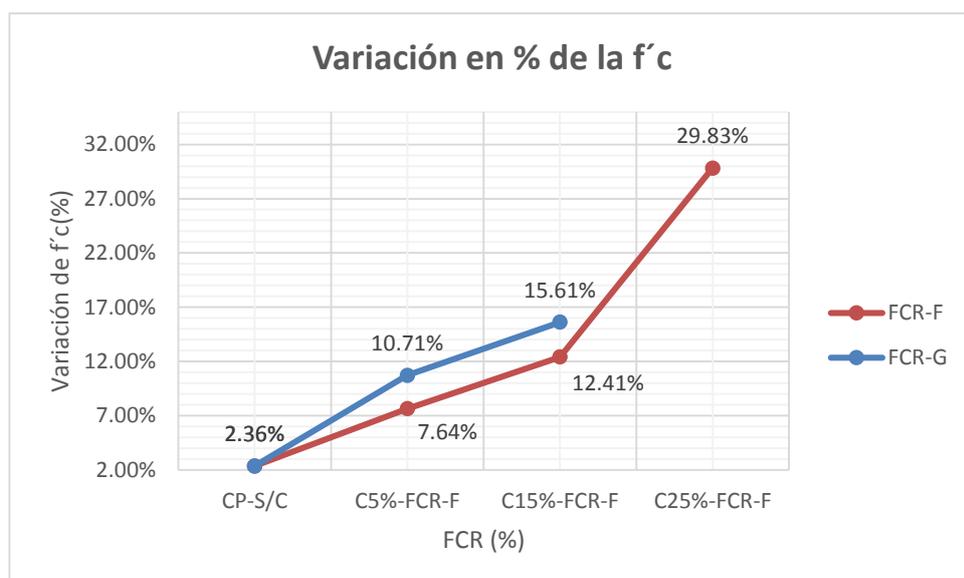


Figura 4.20. Variación en % de la pérdida de f'c sometido a 300 °C.

Fuente: Propia de los autores.



Por lo que se puede concluir del ensayo realizado es que la deshidratación del concreto produce desmejoras en la resistencia a la compresión; y puede producir disminución en el módulo elástico, coeficiente térmico y de expansión, por lo tanto es de esperarse que la resistencia a la compresión haya disminuido al someterse a las probetas a elevadas temperaturas de envejecimiento.

4.2.7. Microestructura

Para este ensayo se utilizó un estereoscopio óptico, con el cual se pudo observar la dispersión de los materiales reciclados dentro de la matriz del concreto. En la fotografía 4.3 se presentan fotos tomadas para el CP-S/C, concreto con FCR-F y concreto con FCR-G.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fotografía 4.3. Microscopía óptica de la mezcla de concreto a) CP-S/C, b) C-FCR-G, c) y d) C-FCR-F.

Fuente: Propia de los autores.



La fotografía 4.3 (a) muestra el concreto sin caucho adicionado. La figura (b) presenta la matriz con el caucho reciclado de grano grueso; en este caso se puede notar que el caucho no está bien adherido a la pasta de cemento, dando lugar a discontinuidades en el interior de la matriz de concreto (formada por la pasta y los áridos). Esta baja adherencia puede ser causa principal de la disminución de la resistencia a la compresión del concreto y del incremento del mismo. La figura (c) se muestra el concreto con FCR-F, después de su ruptura a tracción indirecta y en la figura (d) se puede notar una dispersión homogénea de este material (caucho) dentro de la matriz por lo que en la sección anterior se había mencionado que el caucho en pocas dosis carece de segregación, este hecho se verifica mediante este ensayo, ya que las partículas están unidas adecuadamente al concreto.

Tras someter a las probetas a un tratamiento térmico de 100° C durante el ensayo de densidad seca se observaron fisuras en los concreto con FCR-G, especialmente los fabricados con un elevado porcentaje de caucho. Sin embargo, el concreto convencional no presentó fisuras aparentes, por este motivo se quiso analizar la microestructura de los concretos afectados.

En la Foto26 (b) (véase en el ANEXO 6), confirmaría una fisuración entre los granos de FCR-G y la pasta de mortero sometidas a altas temperaturas. La dilatación producida en el caucho a consecuencia del aumento de temperatura genera unas tensiones internas dentro de la matriz del concreto que la pasta no es capaz de absorber, dando lugar a



las mencionadas fisuras de interface. Los concretos fabricados con alto porcentaje de caucho experimentaron unas tensiones tan fuertes que la pasta se rompía completamente entre los granos de caucho grueso, comunicándolos entre sí a través de las fisuras.

4.2.8. Análisis de la Edificación de Concreto Armado con FCR-F y FCR-G.

De los resultados obtenidos en la figura 4.21-4.22, se puede deducir que el uso de concreto con fibras de caucho reciclado en un 5% de grano grueso varía en mínimo porcentaje las propiedades elásticas de la edificación con respecto al concreto sin caucho (CP-S/C), considerando que la norma técnica de edificación proporciona derivas inelásticas mínimas del concreto según el sistema estructural y otros parámetros (véase en el ANEXO 4), por lo que los resultados fueron acorde a las normas ya descritas. Entonces, los desplazamientos de entrepisos de la edificación de concreto con caucho se mantuvieron constantes para un 5% de caucho de grano grueso, pese a que su resistencia a la compresión disminuyó en un 16%, pero ello no es un factor predominante para que las derivas de entrepisos varíen. Ya que el módulo de elasticidad estático no varió y el peso específico del concreto disminuyó, hizo que la estructura tenga un comportamiento más dúctil y elástico frente a sollicitaciones sísmicas, pues como se sabe, el peso de la edificación forma parte importante en el diseño estructural de todo edificio y mientras mayores sean las cargas por peso propio de la estructura mayores serán las fuerzas estáticas y dinámicas.



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"

Para el concreto con un 5% de caucho de grano fino, se esperaba que tengan menores desplazamientos de entrepisos frente al de 5% de grano grueso, ya que su resistencia a la compresión solo disminuyó en un 7%, por lo que se ratifica lo antes mencionado, que mientras menor sea el peso específico y mayor el módulo de elasticidad, mejor comportamiento elástico tendrá la edificación, pese a ello, la variación de las derivas del C5%-FCR-F a razón del CP-S/C son aceptables.

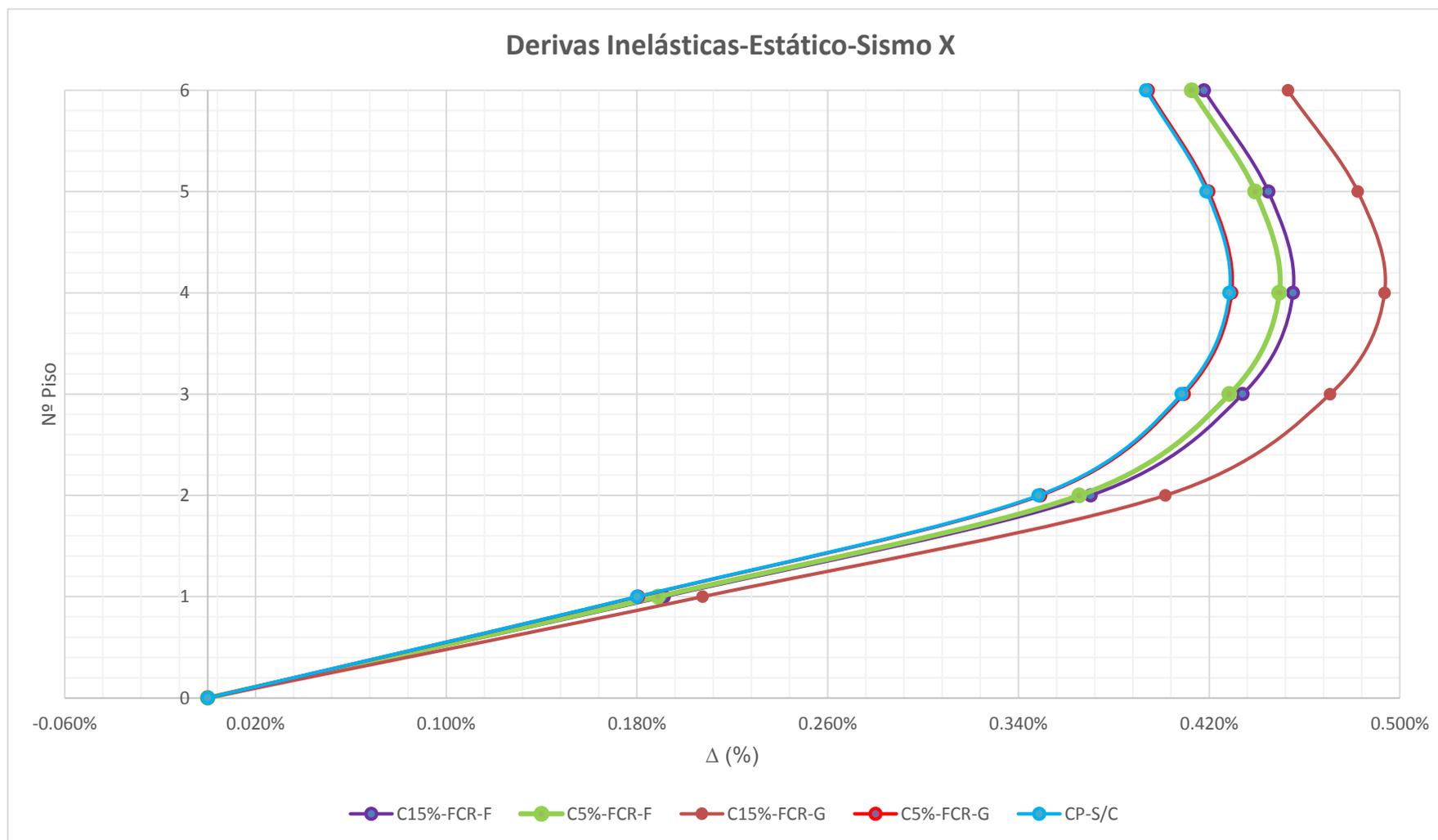


Figura 4.21. Derivas inelásticas-sismo estático (E.030).

Fuente: Propia de los autores.

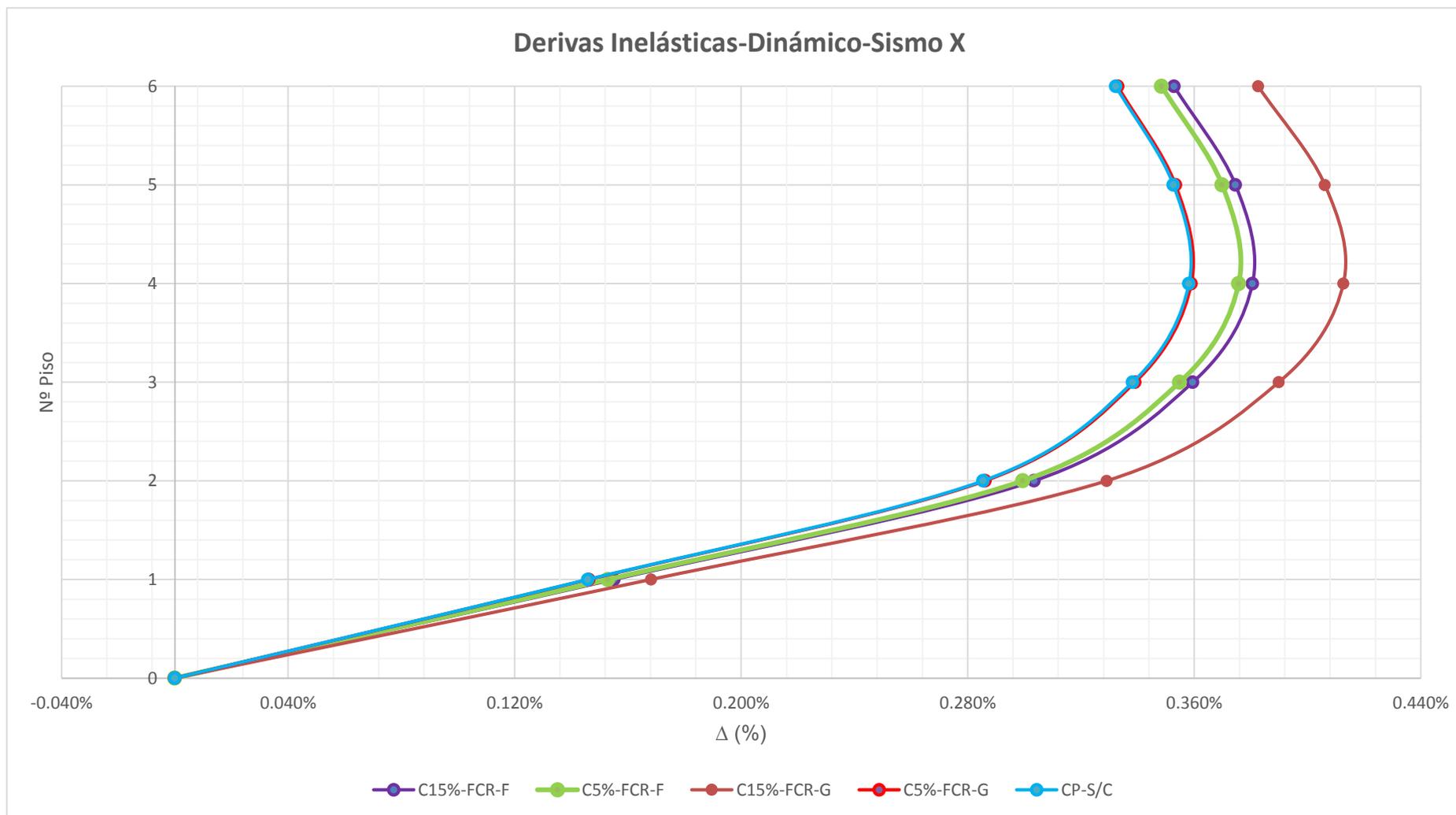


Figura 4.22. Derivas inelásticas-sismo dinámico (E.030).

Fuente: Propia de los autores.



En las figura 4.23 se muestra la variación del peso de la estructura analizada con las diferentes dosis de caucho, por lo que el peso de la edificación disminuyó conforme mayor fue la sustitución de caucho, debido a que el caucho es un material mucho más liviano que los áridos, como se detalla en la tabla 4.12.

Es aceptable la sustitución de los áridos por fibras de caucho para concretos, en un porcentaje de 5%, tanto como para granos finos y granos gruesos, ya que tienen un buen comportamiento elástico, dúctil, es menos pesado y, cumplen los requisitos mínimos que estipula el reglamento nacional de edificaciones.(véase en ANEXO 4).

Tabla 4.12. Peso de la edificación

Nomenclatura	Peso del edificio (Tnf)
CP-S/C	3643.381
C5%-FCR-G	3615.562
C15%-FCR-G	3554.362
C5%-FCR-F	3620.199
C15%-FCR-F	3565.489

Fuente: Propia de los autores

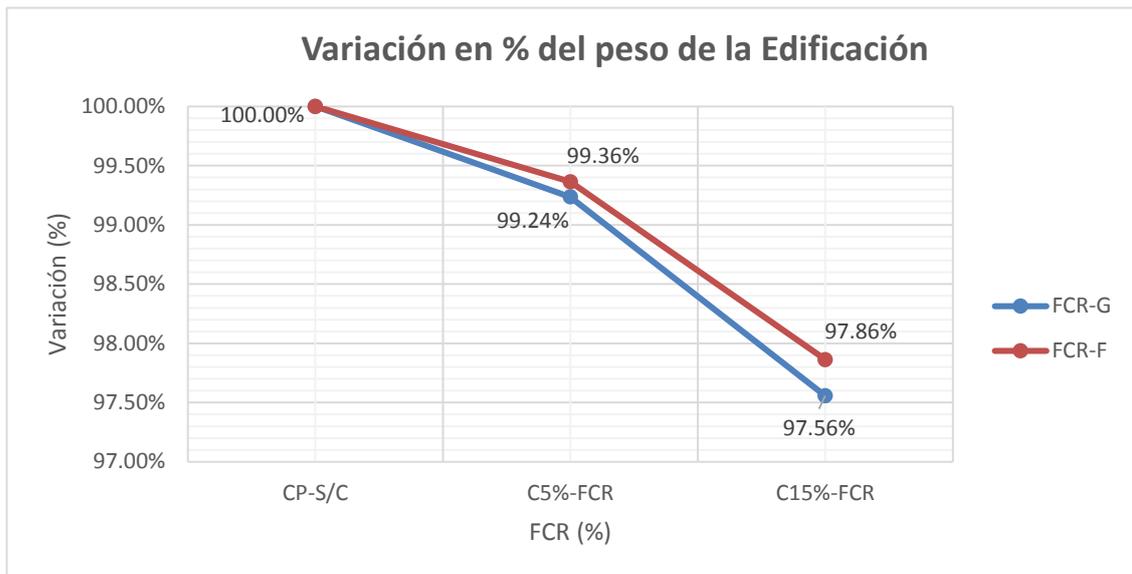


Figura 4.23. Variación del peso con respecto al CP-S/C

Fuente: Propio de los autores.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La sustitución parcial de los áridos en un C5%-FCR-G y C5%-FCR-F mejoró algunas propiedades físicas y mecánicas del concreto, y ello se comprueba en el modelamiento estructural de una edificación, que tuvo un comportamiento elástico aceptable, por lo que se recomienda el uso de este porcentaje de sustitución del árido. Por otro lado el C15%-FCR y C25%-FCR disminuyó las propiedades físicas y mecánicas del concreto, por lo que no se recomienda su uso.
- Con respecto a los ensayos realizados a los áridos del concreto para la obtención de la mezcla patrón según la NTP y ASTM, se concluye que los resultados obtenidos se encuentran en los parámetros y límites establecidos por las normas ya mencionadas, por consiguiente los agregados se constituyen en elementos aptos para poder realizar los diseños de mezcla necesarios para los estudios.
- En la elaboración de la mezcla patrón de concreto concluimos que para la elección de la resistencia promedio requerida a una resistencia de diseño a compresión de 210 kg/cm^2 , a los 28 días, debe estar entre un rango de 294 kg/cm^2 (según el método ACI-211), y debido a que no se contaba con una desviación estándar, se obtuvo una dosificación promedio de 282.7 kg/cm^2 , siendo un diseño bastante aceptable.
- De las propiedades físicas del concreto con FCR, se concluye:
 - ✓ La trabajabilidad y consistencia del concreto fue poco afectado por la adición del caucho reciclado a un 5%, pero para valores superiores al



15% de inclusión de caucho en la mezcla, sí se produjo una variación considerable en el valor del asentamiento.

- ✓ La segregación, en las mezclas concreto-caucho, hubo una distribución homogénea de las partículas de caucho dentro de la matriz y no se observó segregación, esto implica que el cemento, los agregados y el caucho no tienden a separarse, indicando una buena adherencia de este material reciclado a su matriz.
- ✓ De la densidad seca del concreto con FCR-F y FCR-G disminuye, ya que el caucho tiene una densidad mucho menor que la densidad de los áridos y, en el caso de la absorción y porosidad, aumenta progresivamente conforme se le aumente la sustitución del caucho por los áridos, entonces se deduce que, mientras más caucho reciclado se le añada a la mezcla de concreto, este tiene la propiedad de crear espacios intersticiales, por lo que aumenta la capacidad de retención de agua, además que permiten atrapar el agua y evitar la pérdida de la misma en el proceso de curado.
- ✓ En el ensayo térmico y/o comportamiento al fuego se concluye que, el concreto con inclusión de caucho sometido a una temperatura de 300 °C, no se inflaman, pero quedan afectados, dando como resultado una mayor pérdida de peso en las probetas con mayor porcentaje de caucho, debido a que este es deformable cuando es sometido al fuego.
- ✓ En el ensayo de microestructura, el concreto con inclusión de caucho grueso no se adhiere bien a la pasta de cemento, pudiendo ser causa principal de la disminución de su resistencia, pero en tamaños pequeños su adherencia es más favorable.



- De las propiedades mecánicas del concreto con FCR, se concluye:
 - ✓ La resistencia a la compresión para el concreto patrón y el concreto con FCR, disminuye su resistencia progresivamente, esta reducción se ve favorecida por el tamaño del grano del caucho, es decir, a medida que este aumenta, disminuye la resistencia.
 - ✓ En el ensayo de la resistencia a la tracción indirecta del concreto, aumenta en un mínimo porcentaje, para concretos de 5% de FCR-F y 5% de FCR-G, por lo que se puede afirmar que los especímenes con caucho muestran una alta capacidad para absorber energía plástica, concluyendo así, que el caucho tiene la habilidad de experimentar grandes deformaciones elásticas antes de la falla.
 - ✓ En los ensayos de resistencia a la compresión y de resistencia a tracción, en el momento de la rotura, se pudo observar que el comportamiento era distinto dependiendo de la mezcla, ya que cuando las probetas no contenían caucho producían un ruido estruendoso, lo que no sucedía con las muestras sin caucho (evaluación auditiva).
 - ✓ El módulo de elasticidad estático no varía en gran medida para concretos con 5% de FCR-F y FCR-G, además si mayor es el porcentaje de sustitución de caucho, el módulo de elasticidad tiende a disminuir a comparación del CP-S/C, esto se debería, a que, el caucho tiene facilidad para deformarse en presencia de una sollicitación a carga de compresión.
- En el análisis de la Edificación de concreto armado con FCR-F y FCR-G se concluyó que el concreto con fibras de caucho reciclado en un 5 % de grano grueso varía en un mínimo porcentaje las propiedades elásticas de la



**TESIS: “SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015”**

edificación con respecto al concreto sin caucho; además que sus desplazamientos se mantuvieron constantes pese a que su resistencia a la compresión y su módulo de elasticidad estático disminuyó. Entonces las propiedades elásticas de la edificación para un C5%-FCR-F son aceptables.



5.2. RECOMENDACIONES

- En el caso de los ensayos realizados a los áridos del concreto, es recomendable cumplir con todos los requisitos mostrados en la NTP y ASTM para que las propiedades del concreto tenga una buena resistencia, durabilidad, trabajabilidad, asentamiento, etc.
- Lo que se debe tomar en cuenta obligatoriamente cada vez que se quiera realizar un diseño de mezcla es obtener la verdadera resistencia patrón, además del porcentaje de absorción y el contenido de humedad de los agregados, debido a que estos valores nos llevan a aumentar o disminuir los volúmenes de agua en la mezcla, para poder tener una buena dosificación.
- En cuanto a la elaboración de las probetas de concreto, es recomendable que desde el momento que son compactados y enrasados es conveniente cubrirlos después del acabado. Para evitar la evaporación de agua del concreto sin endurecer, los testigos de deben ser cubiertos inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una platina no reactiva con el concreto, o con una lámina de plástico dura e impermeable. Se permite el uso de lona húmeda para el cubrimiento de la muestra, pero se evitará el contacto directo de la muestra con la lona, lo cual debe permanecer húmeda durante las 24 horas contadas a partir del acabado de la muestra.
- Se recomienda usar las normas E-020, E-030 y E-060 del reglamento nacional de edificaciones (RNE) en el modelamiento estructural, para obtener resultados conforme a las Normas Peruanas.



CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA



CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA

6.1.- NORMAS:

- American Concrete Institute, Diseño de Mezcla de concreto Estructural, ACI 211-01.
- American Concrete Institute, Definiciones y métodos de materiales para el concreto Estructural, ACI 318-01.
- American Society for Testing Materials, Método de Ensayo Peso Unitario y Vacíos en los Agregados, ASTM C 29/C 29M-01.
- American Society for Testing Materials, Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra, ASTM C31-03.
- American Society for Testing Materials, Definiciones y ensayos de los materiales del Hormigón, ASTM C33-01.
- American Society for Testing Materials, Terminología Relativa de Concreto y Agregados para Concreto, ASTM C 125-01.
- American Society for Testing Materials, Método de Ensayo para Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grues, ASTM C 127-01.
- American Society for Testing Materials, Método de Ensayo para Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino, ASTM C 128-01.
- American Society for Testing Materials, Método de ensayo estándar para la determinación del revenimiento en el concreto a base de cemento hidráulico, ASTM C 143-00.
- American Society for Testing Materials, Método de Ensayo Estándar para Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado, Porcentaje de Humedad para el Agregado Fino, ASTM C 566-97.



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"

- American Society for Testing Materials, Práctica Estándar para reducción de las Muestras De Agregado al Tamaño de Prueba, ASTM C-702-01.
- American Society for Testing Materials, Práctica para Muestreo de Agregados, ASTM D 75-03.
- Manual de Ensayo de Materiales, MTC, (EM 2000).
- Norma técnica de Edificación, Concreto Armado, NTE E.060-2006.
- Norma Técnica Peruana, Definiciones y requisitos del cemento, NTP 334.090:2005.
- Norma Técnica Peruana, Elaboración y curado de probetas cilíndricas en obra, NTP 339.033:2009.
- Norma Técnica Peruana, Definiciones y terminología relativas al concreto, NTP 339.047:2006.
- Norma Técnica Peruana, Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción simple del hormigón, NTP 339.084:2012.
- Norma Técnica Peruana, Tamices de ensayo, NTP 350.001:2006.
- Norma Técnica Peruana 400.010; AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras, NTP 400.010:2012.
- Norma Técnica Peruana, Modulo de Finura del Agregado Fino, NTP 400.011:2001.
- Norma Técnica Peruana, Absorción del Agregado Grueso, NTP 400.021:2006.
- Norma Técnica Peruana, Requisitos granulométricos de los Agregados, NTP 400.037:2006.



- UNE 12390 – 7:2000. Ensayos de hormigón endurecido.

6.2.- PROYECTOS FIN DE CARRERA Y TESINAS:

- DIAZ VILCA, Miguel Justiano, "*Correlación entre la porosidad y la resistencia del concreto*". Lima-Perú, 2010. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Ricardo Palma. Facultad de Ingeniería E.A.P. Ingeniería Civil.
- GARCÍA CABRERA, María Alejandra, "*Factibilidad de Sustitución del Agregado Fino del Concreto por Fibras Termoplásticos y Elastómeros reciclados*". Venezuela, 2007. Trabajo de grado (Magíster en Ingeniería Mecánica). Universidad Simón Bolívar. Decanato de estudios de postgrado.
- URRRA CARRASCO, Irene Pilar, "*Hormigón con caucho: Determinación del Módulo de Elasticidad*". Chile, 2006. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería.
- SWANECK GALLEGUILLOS, John, "*Reciclado de Neumáticos fuera de Uso y su Aplicación en la Construcción*". Santiago de Chile, 2011. Trabajo de grado (Ingeniero Ejecución Informático). Universidad Mayor. Facultad de Ingeniería.

7.3.- INFORMES DE INVESTIGACIÓN:

- BARRA BIZONOTTO, Marilda, RIBAC FRANCEC, Jordana, "*Realización de los ensayos de laboratorio del Hormigón con Caucho procedente de Neumáticos fuera de uso (NFU)*". Barcelona-2009. *Ingenieros Civiles. Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona.*



- ALBANO C., CAMACHO N., *"Influencia de la adición de caucho de reciclaje a compuestos de cemento Portland, tipo I: Ensayos destructivos y no destructivos"*. Venezuela, 2005. Quinta Conferencia Internacional sobre Ciencia y Tecnología Compuesto. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.
- SGOBBA, Sara, GIUSEPPE, Carlo, "El uso de goma de partículas de neumáticos reciclados como agregados de hormigón para aplicaciones de ingeniería". Italia, 2010. Università Politecnica delle Marche. Department of Environmental and Sustainable Development.
- ABDULRALUMAN, Ameer, "Efecto de las cenizas volantes y residuos de goma en propiedades del compuesto de hormigón". Irak, 2011. College of Engineering/ University of Al-Anbar. Lecturer in Civil Engineering Department.

7.4.- LIBROS:

- **NEVILLE A**, "Properties of Concrete." Segunda Edición .Editorial Pitman Press, Paris, Tomo I, 22-30, 1973.
- **TEODORO HAEMSEN**, "Diseño de estructuras de concreto armado". 3era edición, Lima-Perú, PUCP, 2002.
- **BLANCO BLASCO, ANTONIO**, "Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado", Libro 2 de la colección de Ingeniero Civil, Lima, 1990-1991.



ANEXOS



**ANEXO Nº 01: PRUEBAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DE LOS
AGREGADOS**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

PORCENTAJE DE HUMEDAD PARA EL AGREGADO FINO
ASTM C-566

Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

Ensayo No.	1	2	3	
Peso de la tara (gr)	26.89	27.37	26.06	PROMEDIO
Peso tara + suelo húmedo (gr)	138.94	143.16	122.48	
Peso tara + suelo seco (gr)	138.88	143.07	122.43	
Peso del agua (gr)	0.06	0.08	0.05	
Peso del suelo seco (gr)	112.00	115.71	96.37	
Contenido de humedad (%)	0.05%	0.07%	0.05%	

Humedad % promedio: 0.06



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

PORCENTAJE DE HUMEDAD PARA EL AGREGADO GRUESO
ASTM C-566

Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

Ensayo No.	1	2	3	
Peso de la tara (gr)	27.27	27.05	28.58	PROMEDIO
Peso tara + suelo húmedo (gr)	178.06	163.51	199.62	
Peso tara + suelo seco (gr)	177.82	163.26	199.31	
Peso del agua (gr)	0.25	0.26	0.31	
Peso del suelo seco (gr)	150.55	136.21	170.73	
Contenido de humedad (%)	0.16%	0.19%	0.18%	

Humedad % promedio: 0.18



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO

NTP. 400-012

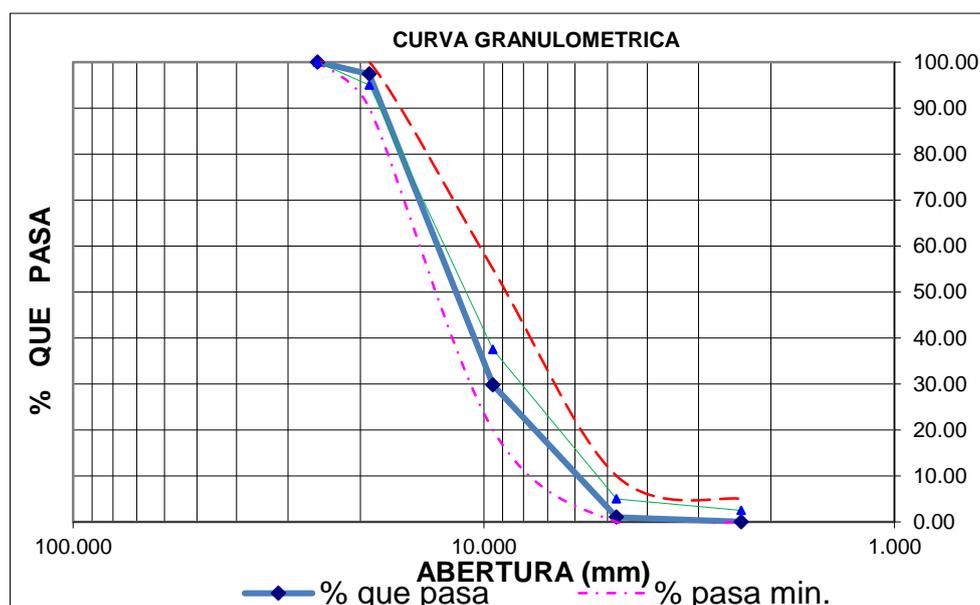
Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

Peso Inicial: 7000.00 gr

Muestra: M-1

Mallas	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO %	RETENIDO ACUMULADO %	PASA %
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	237.00	5.96	1.96	98.04
1/2"	12.500	3429.00	48.99	50.94	49.06
3/8"	9.500	1592.00	22.74	73.69	26.31
Nº 4	4.750	1673.00	21.33	99.01	0.99
N'8	2.360	69.00	0.99	100.00	0.00
fondo		0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		7000.00	100.00		





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO
NTP. 400-012

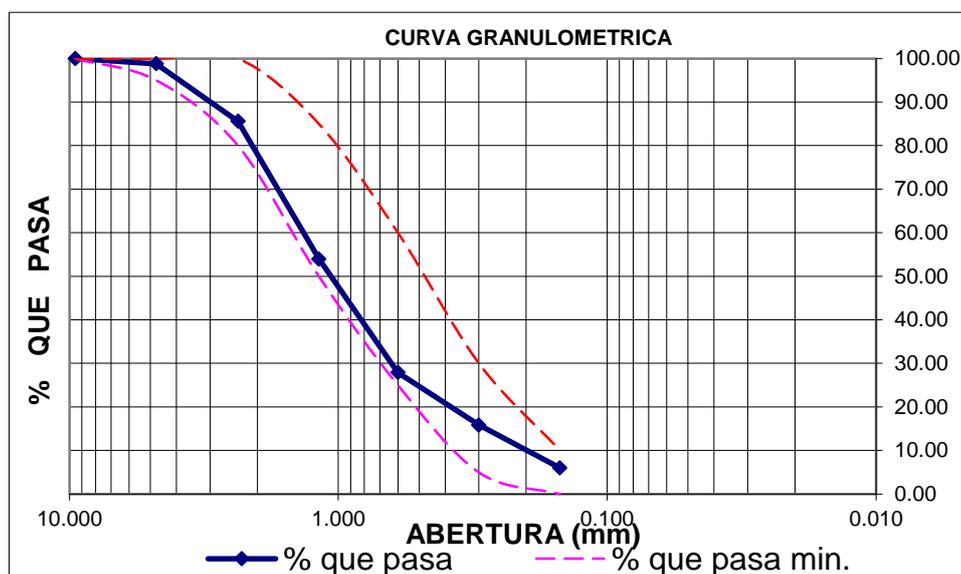
Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

Peso Inicial: 1000.00 gr

Muestra: M-1

Mallas	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO %	RETENIDO ACUMULADO %	PASA %
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.750	12.00	1.22	1.22	98.78
Nº 8	2.360	130.00	13.18	14.40	85.60
Nº 16	1.180	312.00	31.64	46.04	53.96
Nº 30	0.600	257.00	26.06	72.11	27.89
Nº 50	0.300	119.00	12.07	84.18	15.82
Nº 100	0.150	97.00	9.84	94.02	5.98
fondo		59.00	5.98	100.00	0.00
TOTAL		1000.00	100.00		





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO
NTP. 400-012

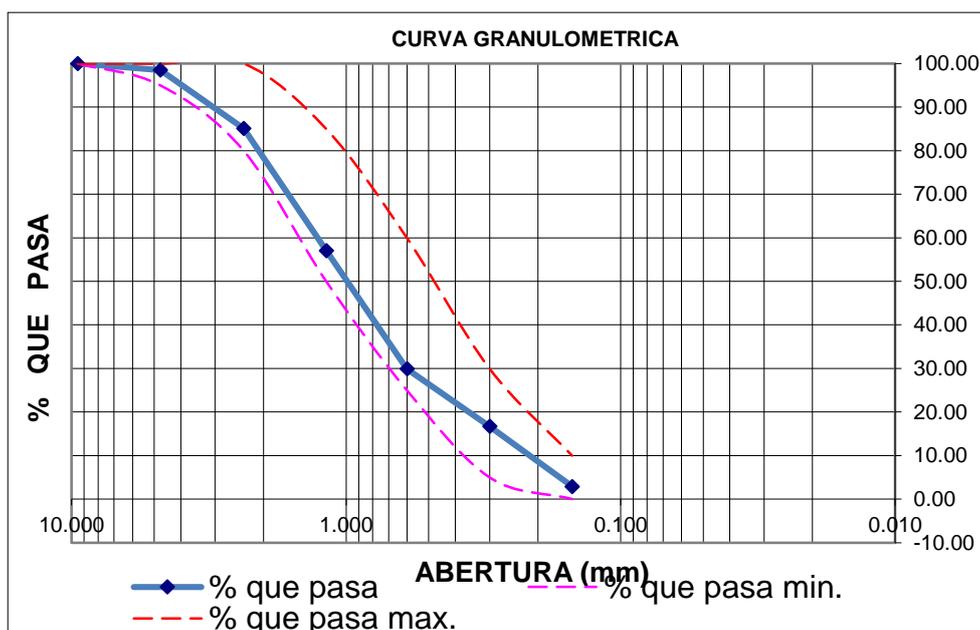
Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

Peso Inicial: 1000.00 gr

Muestra: M-2

Mallas	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO %	RETENIDO ACUMULADO %	PASA %
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.750	15.00	1.50	1.50	98.50
Nº 8	2.360	134.00	13.40	14.90	85.10
Nº 16	1.180	281.00	28.10	43.00	57.00
Nº30	0.600	271.00	27.10	70.10	29.90
Nº 50	0.300	132.00	13.20	83.30	16.70
Nº 100	0.150	138.00	13.80	97.10	2.90
fondo		29.00	2.90	100.00	0.00
TOTAL		1000.00	100.00		





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO
NTP. 400-012

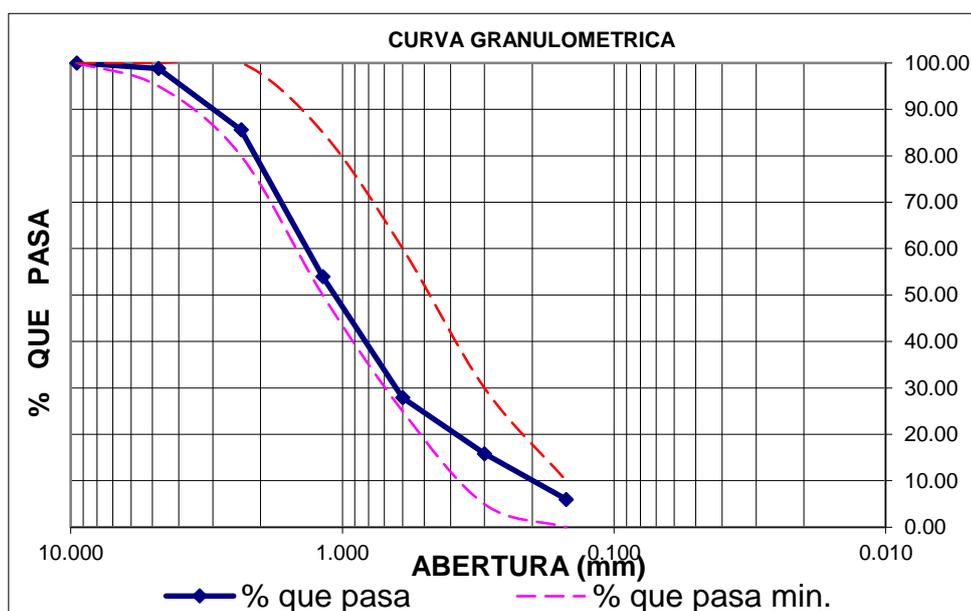
Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

Peso Inicial: 1000.00 gr

Muestra: M-3

Mallas	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO %	RETENIDO ACUMULADO %	PASA %
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.750	17.00	1.78	1.78	98.22
Nº 8	2.360	96.00	10.05	11.83	88.17
Nº 16	1.180	306.00	32.04	43.87	56.13
Nº 30	0.600	257.00	26.91	70.79	29.21
Nº 50	0.300	120.00	12.57	83.35	16.65
Nº 100	0.150	106.00	11.10	94.45	5.55
fondo		53.00	5.55	100.00	0.00
TOTAL		1000.00	100.00		





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

MODULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO: NTP. 400-011

Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

**PROMEDIO DE
MODULO DE
FINURA**

MUESTRA	
M-1	3.12
M-2	3.10
M-3	3.06
PROMEDIO	3.09



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE DESGASTE DE AGREGADO: ASTM C-131

Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Cantera : TIPO B, (según tabla 3.5)

Tipo de granulometría : TIPO B, (según tabla 3.5)

Número de esferas : 11(según tabla 3.6)

MALLAS	PESOS(g)
Pasa la malla ¾" y se retiene en la malla ½"	2500
Pasa la malla ½" y se retiene en la malla 3/8"	2500
Peso total de muestra:	5000
Wfinal (peso después de la prueba retenido en la malla N° 12)	4472

% Desgaste

$$D = \frac{(W_{Inicial} - W_{Final})}{W_{Inicial}} \times 100 \leq 45$$

% Desgaste: **10.56%**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO SUELTO: NTP 400.017

Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

AGREGADO FINO

Peso del molde (gr)	1609.00	1609.00	1609.00	PROMEDIO
Volumen del molde (cm ³)	2744.00	2744.00	2744.00	
Peso del molde + muestra suelta (gr)	5881.00	5895.00	5876.00	
Peso de la muestra suelta (gr)	4272.00	4286.00	4267.00	
Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	1556.85	1561.95	1555.03	1557.94kg/m³

AGREGADO GRUESO

Peso del molde (gr)	2927.00	2927.00	2927.00	PROMEDIO
Volumen del molde (cm ³)	8064.00	8064.00	8064.00	
Peso del molde + muestra suelta (gr)	14983.00	15155.00	15024.00	
Peso de la muestra suelta (gr)	12056.00	12228.00	12097.00	
Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	1495.04	1516.37	1500.12	1503.8kg/m³



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO COMPACTADO: NTP 400.017

Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

AGREGADO GRUESO

Peso del molde (gr)	2927.00	2927.00	2927.00	PROMEDIO
Volumen del molde (cm ³)	8064.00	8064.00	8064.00	
Peso del molde + muestra compactada (gr)	16549.00	16643.00	16610.00	
Peso de la muestra compactada (gr)	13622.00	13716.00	13683.00	
Peso Unitario Compactado (Kg/m³)	1689.24	1700.89	1696.80	1695.64kg/m³



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO: NTP 400.021

Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Muestra: M-1 **Peso de la muestra:** 500 gr

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

DESCRIPCIÓN	SÍM	CANT
PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (gr)	B	3000
PESO DE MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA DENTRO DEL AGUA+CANASTILLA (gr)		3964
PESO DE LA CANASTILLA DENTRO DEL AGUA (gr)		2012
PESO DE LA MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA (gr)	C	1952
PESO DE LA MUESTRA SECA (gr)	A	2989

1.- PESO ESPECÍFICO DE LA MASA

$$A / (B-C) = 2.85 \text{ gr/cm}^3$$

2.- PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO

$$B / (B-C) = 2.86 \text{ gr/cm}^3$$

3.- PESO ESPECÍFICO APARENTE

$$A / (A-C) = 2.88 \text{ gr/cm}^3$$

4.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

$$(B-A) / A * 100 = 0.37\%$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO: NTP 400.021

Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Muestra: M-2 **Peso de la muestra:** 500 gr

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

DESCRIPCIÓN	SÍM	CANT
PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (gr)	B	3000.0
PESO DE MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA DENTRO DEL AGUA+CANASTILLA (gr)		3986.0
PESO DE LA CANASTILLA DENTRO DEL AGUA (gr)		2015.0
PESO DE LA MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA (gr)	C	1971.0
PESO DE LA MUESTRA SECA (gr)	A	2989.0

1.- PESO ESPECÍFICO DE LA MASA

$$A / (B-C) = 2.90 \text{ gr/cm}^3$$

2.- PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO

$$B / (B-C) = 2.92 \text{ gr/cm}^3$$

3.- PESO ESPECÍFICO APARENTE

$$A / (A-C) = 2.94 \text{ gr/cm}^3$$

4.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

$$(B-A) / A * 100 = 0.37\%$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO: NTP 400.021

Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Muestra: M-3

Peso de la muestra: 500 gr

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

DESCRIPCIÓN	SÍM	CANT
PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (gr)	B	3000.0
PESO DE MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA DENTRO DEL AGUA+CANASTILLA (gr)		3980.0
PESO DE LA CANASTILLA DENTRO DEL AGUA (gr)		2013.0
PESO DE LA MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA (gr)	C	1967.0
PESO DE LA MUESTRA SECA (gr)	A	2988.0

1.- PESO ESPECÍFICO DE LA MASA

$$A / (B-C) = 2.89 \text{ gr/cm}^3$$

2.- PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO

$$B / (B-C) = 2.90 \text{ gr/cm}^3$$

3.- PESO ESPECÍFICO APARENTE

$$A / (A-C) = 2.93 \text{ gr/cm}^3$$

4.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

$$(B-A) / A * 100 = 0.40\%$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA EN AGREGADO GRUESO:
NTP 400.021**

Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Muestra: M-1, M-2, M-3 **Peso de la muestra:** 500 gr

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

RESUMEN

ENSAYO	M-1	M2	M3	PROMEDIO
Peso específico de masa (gr/cm ³)	2.85	2.90	2.89	2.88
Peso específico de masa saturado superficialmente seco (gr/cm ³)	2.86	2.92	2.90	2.89
Peso específico Aparente (gr/cm ³)	2.88	2.94	2.93	2.92
Porcentaje de Absorción (%)	0.37	0.37	0.40	0.38



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA EN AGREGADO FINO:
NTP 400.021

Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Muestra: M-1 **Peso de la muestra:** 500 gr

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

DESCRIPCIÓN	SÍM	CANT
PESO DE LA FIOLA (gr)		142.0
PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECO+PESO DE LA FIOLA (gr)	B	642.0
PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECO+PESO DE LA FIOLA+ PESO DEL AGUA (gr)		960
PESO DEL AGUA (gr)	W	318.0
PESO DE LA ARENA SECA (gr)	A	493.5
VOLUMEN DE LA FIOLA (ml)	V	500

1.- PESO ESPECÍFICO DE LA MASA

$$A / (V-W) = 2.71 \text{ gr/cm}^3$$

2.- PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO

$$500 / (V-W) = 2.75 \text{ gr/cm}^3$$

3.- PESO ESPECÍFICO APARENTE

$$A / (V-W) - (500-A) = 2.81 \text{ gr/cm}^3$$

4.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

$$(500-A) / A = 1.32\%$$



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA EN AGREGADO FINO:
NTP 400.021**

Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Muestra: M-2 **Peso de la muestra:** 500 gr

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

DESCRIPCIÓN	SÍM	CANT
PESO DE LA FIOLA (gr)		132.0
PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECO+PESO DE LA FIOLA (gr)	B	632.0
PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECO+PESO DE LA FIOLA+ PESO DEL AGUA (gr)		949.0
PESO DEL AGUA (gr)	W	317.0
PESO DE LA ARENA SECA (gr)	A	494.0
VOLUMEN DE LA FIOLA (ml)	V	500

1.- PESO ESPECÍFICO DE LA MASA

$$A / (V-W) = 2.70 \text{ gr/cm}^3$$

2.- PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO

$$500 / (V-W) = 2.73 \text{ gr/cm}^3$$

3.- PESO ESPECÍFICO APARENTE

$$A / (V-W) - (500-A) = 2.79 \text{ gr/cm}^3$$

4.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

$$(500-A) / A = 1.21\%$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA EN AGREGADO FINO:
NTP 400.021

Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Muestra: M-3 **Peso de la muestra:** 500 gr

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

DESCRIPCIÓN	SÍM	CANT
PESO DE LA FIOLA (gr)		142.0
PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECO+PESO DE LA FIOLA (gr)	B	642.0
PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECO+PESO DE LA FIOLA+ PESO DEL AGUA (gr)		960.0
PESO DEL AGUA (gr)	W	318.0
PESO DE LA ARENA SECA (gr)	A	493.5
VOLUMEN DE LA FIOLA (ml)	V	500

1.- PESO ESPECÍFICO DE LA MASA

$$A / (V-W) = 2.71 \text{ gr/cm}^3$$

2.- PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO

$$500 / (V-W) = 2.75 \text{ gr/cm}^3$$

3.- PESO ESPECÍFICO APARENTE

$$A / (V-W) - (500-A) = 2.81 \text{ gr/cm}^3$$

4.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

$$(500-A) / A = 1.32\%$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA EN AGREGADO FINO:
NTP 400.021

Proyecto: "Sustitución de los áridos por fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de concreto estructural en Chimbote-2015"

Muestra: M-1, M-2, M-3

Peso de la muestra: 500 gr

Cantera: Samanco a 1 km. de la panamericana

RESUMEN

ENSAYO	M-1	M2	M3	PROMEDIO
Peso específico de masa (gr/cm ³)	2.70	2.71	2.71	2.71
Peso específico de masa saturado superficialmente seco (gr/cm ³)	2.73	2.75	2.75	2.74
Peso específico Aparente (gr/cm ³)	2.79	2.82	2.81	2.81
Porcentaje de Absorción (%)	1.21	1.46	1.32	1.33



ANEXO Nº 02: DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO

Diseño de mezcla del Concreto Patrón con Cemento Pacasmayo

Tipo I: (ACI 211)

Utilizando el método ACI se elaboró un diseño de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ como se muestra a continuación:

I. ESPECIFICACIONES:

- 1.1. La Resistencia de Diseño a los 28 días es de 210 Kg/cm^2 , se desconoce el valor de la desviación estándar.

1.2. Materiales:

1.2.1. Cemento Pacasmayo Tipo I

Peso Específico 3.11 gr/cm^3

1.2.2. Agregado Fino:

Arena Gruesa

Peso Específico 2.71 gr/cm^3

Absorción 1.33 %

Contenido de Humedad 0.06 %

Módulo de Fineza 3.09

Peso Unitario Suelto 1558 Kg/m^3

1.2.3. Agregado Grueso:

Piedra chancada

Tamaño Máximo Nominal 3/4"

Peso unitario compactado 1696 Kg/m^3



<i>Peso Específico</i>	2.88	<i>gr/cm³</i>
<i>Absorción</i>	0.38	%
<i>Contenido de Humedad</i>	0.18	%
<i>Peso Unitario Suelto</i>	1504	<i>Kg/m³</i>

1.2.4. Agua:

Agua del laboratorio.

II. SECUENCIA DE DISEÑO:

2.1. Selección de la Resistencia (f'_{cr}):

Dado que no se conoce el valor de la desviación estándar, entonces se tiene:

$$f'_{cr} = f'_c + 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$$

2.2. Selección del Tamaño Máximo Nominal:

El tamaño máximo nominal es de 3/4"

2.3. Selección del Asentamiento:

Por condiciones de colocación se requiere de una mezcla plástica con un asentamiento de 3" y 4".

2.4. Volumen Unitario de Agua:

*Para una mezcla de concreto de 3" y 4" de asentamiento, sin aire incorporado y cuyo agregado tiene un tamaño máximo nominal de 3/4", el volumen unitario de agua es de **204** lt/m³.*



2.5. Contenido de Aire

Se considera 2.00% de aire atrapado por las características de los componentes de éste concreto.

2.6. Relación Agua-Cemento:

Para un resistencia de diseño $f'_{cr} = 294 \text{ kg/cm}^2$ sin aire incorporado

La relación agua-cemento es de **0.56** por durabilidad.

2.7. Factor Cemento:

$$204.00/0.56 = 364.29 \text{ kg/m}^3 = 8.57 \text{ Bls/m}^3.$$

2.8. Contenido de Agregado Grueso:

Para un módulo de fineza de 3.09 y un tamaño máximo nominal de 3/4" le corresponde un volumen unitario de 0.59 m³ de agregado grueso varillado por unidad de volumen de concreto.

$$\text{Peso del agregado grueso} = 0.50 \times 1696 = \mathbf{1000.43 \text{ kg/m}^3}$$

2.9. Cálculo de Volúmenes Absolutos:

Cemento	=	0.117 m ³
Agua	=	0.204 m ³
Aire Atrapado	=	0.020 m ³
Agregado grueso	=	<u>0.347 m³</u>
Total	=	0.688 m ³

2.10. Contenido de Agregado Fino:

$$\text{Volumen absoluto de agregado fino} = 0.312 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso de agregado fino seco} = 844 \text{ m}^3$$



2.11 Valores de Diseño:

Cemento	=	364.29 kg/m ³
Agua de Diseño	=	204.00 Lt/m ³
Agregado Fino Seco	=	844.00 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	=	100.43 kg/m ³

2.12. Corrección por Humedad de los Agregados:

Agregado Fino	=	844.48 kg/m ³
Agregado Grueso	=	1002.21 kg/m ³

Humedad Superficial de:

Agregado Fino	=	-1.27 %
Agregado Grueso	=	-0.20 %
<i>Aporte de Humedad del agregado:</i>		
Agregado Fino	=	-10.76 Lt/m ³
Agregado Grueso	=	-2.01 Lt/m ³
Agua Efectiva	=	216.76 Lt/m ³

Los pesos de los materiales ya corregidos:

Cemento	=	364.29 kg/m ³
Agua Efectiva	=	216.76 Lt/m ³
Agregado Fino Húmedo	=	844.48 kg/m ³



Agregado Grueso Húmedo = 1002.21 kg/m³

2.13. Proporción en Peso Húmedo:

1 : 2.32 : 2.75 / 0.60

2.14. Pesos por Tanda de un Saco:

Cemento = 42.50 kg/saco

Agua Efectiva = 25.29 Lt/saco

Agregado Fino Húmedo = 98.52 kg/saco

Agregado Grueso Húmedo = 116.93 Kg/saco

2.15 Peso por Pie Cúbico:

Agregado Fino Húmedo = 19.14 kg/pie³

Agregado Grueso Húmedo = 23.53 Kg/pie³

2.16 Dosificación en Volumen:

Cemento = 1.00 pie³

Agua Efectiva = 2.23 pie³

Agregado Fino Húmedo = 2.75 pie³

Agregado Grueso Húmedo = 25.29 Lt/bolsa



ANEXO Nº 03: RESULTADOS AL CONCRETO REALIZADOS

3.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

FORMULACION	Nº probeta	Día	Diámetro (± 0.1 mm)	Carga Máxima kgf	Compresión kgf/cm ²
CP-S/C	1	7	15.1	34673	193.6
	2	7	15.1	34028	190.0
	3	7	15.2	33732	185.9
	4	14	15.1	43870	245.0
	5	14	15.1	43215	241.3
	6	14	15.2	42098	232.0
	7	28	15.1	50751	283.4
	8	28	15.2	50772	279.8
	9	28	15.1	51016	284.9
C5%-FCR-F	1	7	15.1	31680	176.9
	2	7	15.1	30970	172.9
	3	7	15.2	30717	169.3
	4	14	15.1	40252	224.8
	5	14	15.1	40743	227.5
	6	14	15.2	40951	225.7
	7	28	15.1	47526	265.4
	8	28	15.1	46614	260.3
	9	28	15.1	46821	261.5
C15%-FCR-F	1	7	15.1	24648	137.6
	2	7	15.1	23884	133.4
	3	7	15.2	23702	130.6
	4	14	15.1	30611	170.9
	5	14	15.1	31123	173.8
	6	14	15.2	30046	165.6
	7	28	15.1	35127	196.2
	8	28	15.2	34191	188.4
	9	28	15.1	34234	191.2



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"

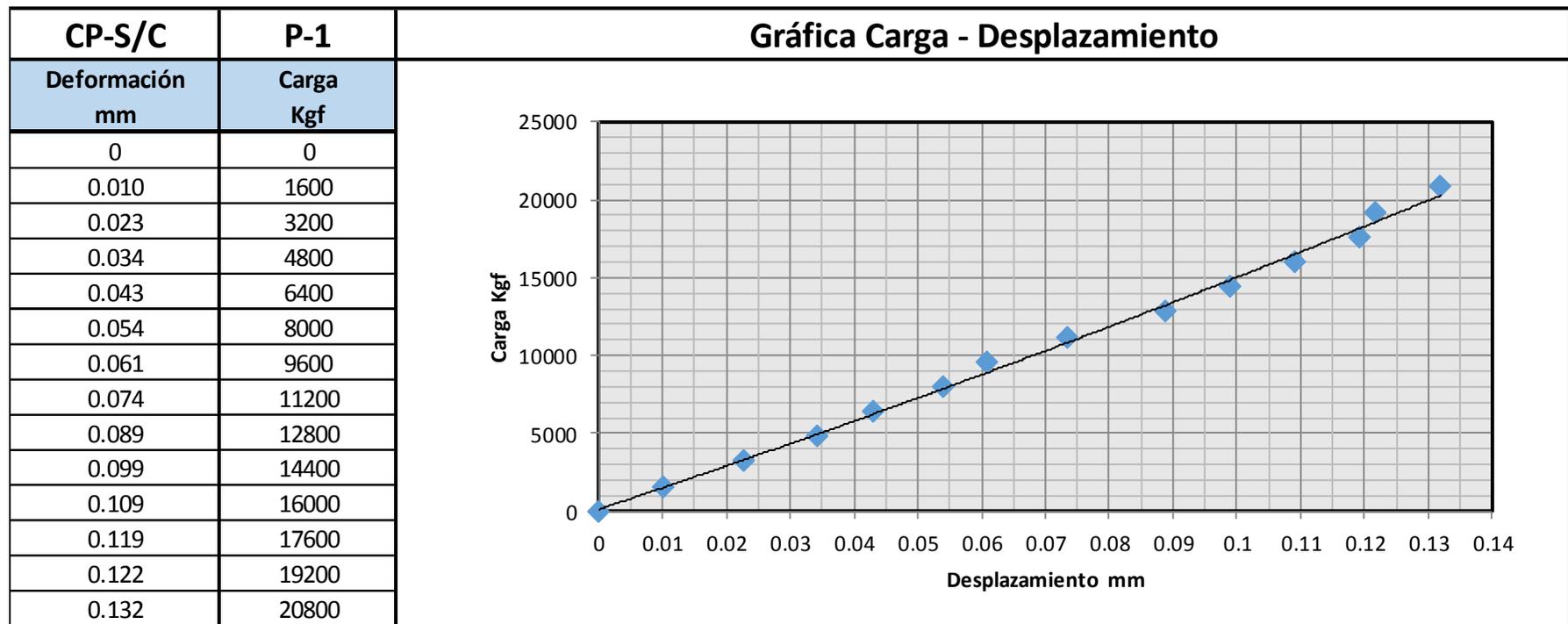
C25%-FCR-F	1	7	15.1	21254	118.7
	2	7	15.1	18976	106.0
	3	7	15.2	20483	112.9
	4	14	15.1	25664	143.3
	5	14	15.1	25172	140.6
	6	14	15.2	23991	132.2
	7	28	15.1	29153	162.8
	8	28	15.2	27654	152.4
	9	28	15.1	28377	158.5
C5%-FCR-G	1	7	15.1	31680	176.9
	2	7	15.1	30970	172.9
	3	7	15.2	30717	169.3
	4	14	15.1	39055	218.1
	5	14	15.1	38766	216.5
	6	14	15.2	38331	211.2
	7	28	15.1	42609	237.9
	8	28	15.1	41908	234.0
	9	28	15.1	43129	240.8
C15%-FCR-G	1	7	15.1	22195	123.9
	2	7	15.1	22600	126.2
	3	7	15.2	21525	118.6
	4	14	15.1	27815	155.3
	5	14	15.1	28543	159.4
	6	14	15.2	27517	151.6
	7	28	15.1	31159	174.0
	8	28	15.2	31989	176.3
	9	28	15.1	30853	172.3
C25%-FCR-G	1	7	15.1	17800	99.4
	2	7	15.1	15695	87.6
	3	7	15.2	16499	90.9
	4	14	15.1	22480	125.5
	5	14	15.1	21835	121.9
	6	14	15.2	20788	114.6
	7	28	15.1	24161	134.9
	8	28	15.2	23574	129.9
	9	28	15.1	22379	125.0



3.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

Carga Máxima: 50016 kgf
 f'_{cr} : 279.30 kgf/cm²
 Area: 179.08 cm²

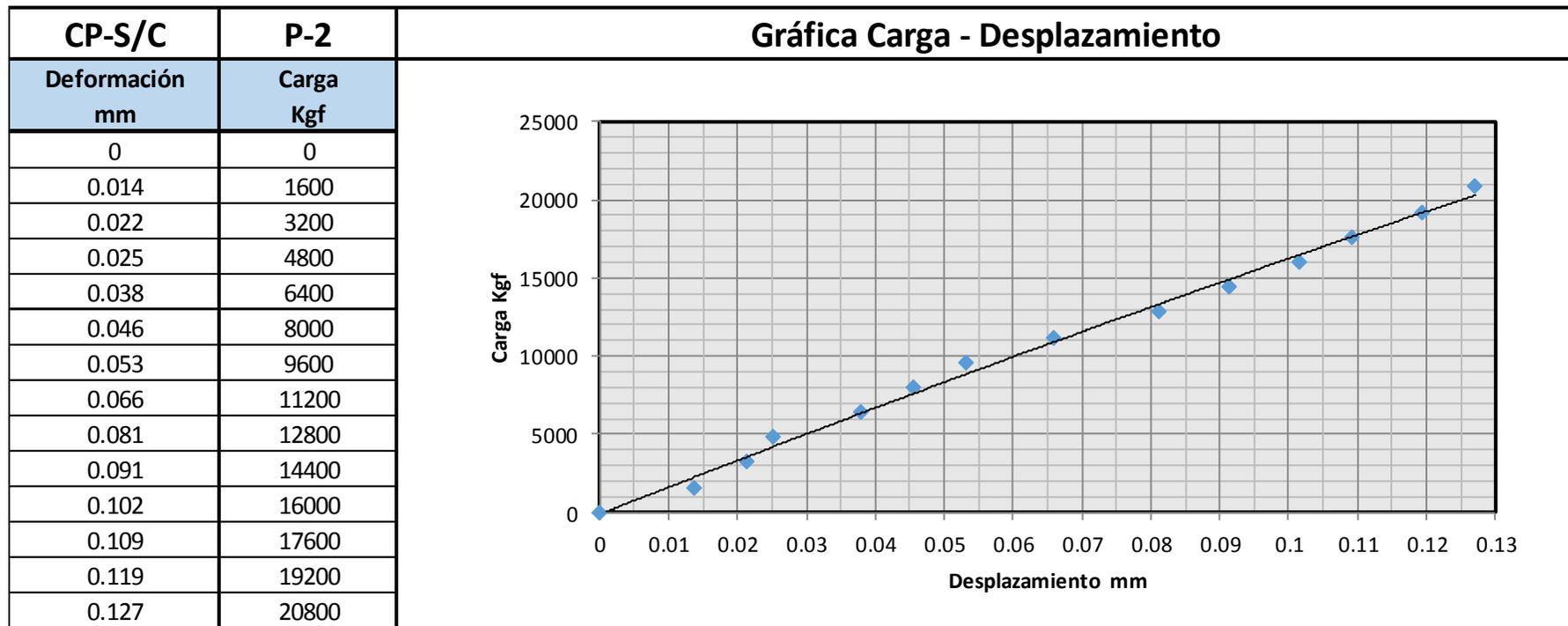
Diametro : 15.10 cm
 Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 51894.00 kgf
f'cr : 289.78 kgf/cm²
Area: 179.08 cm²

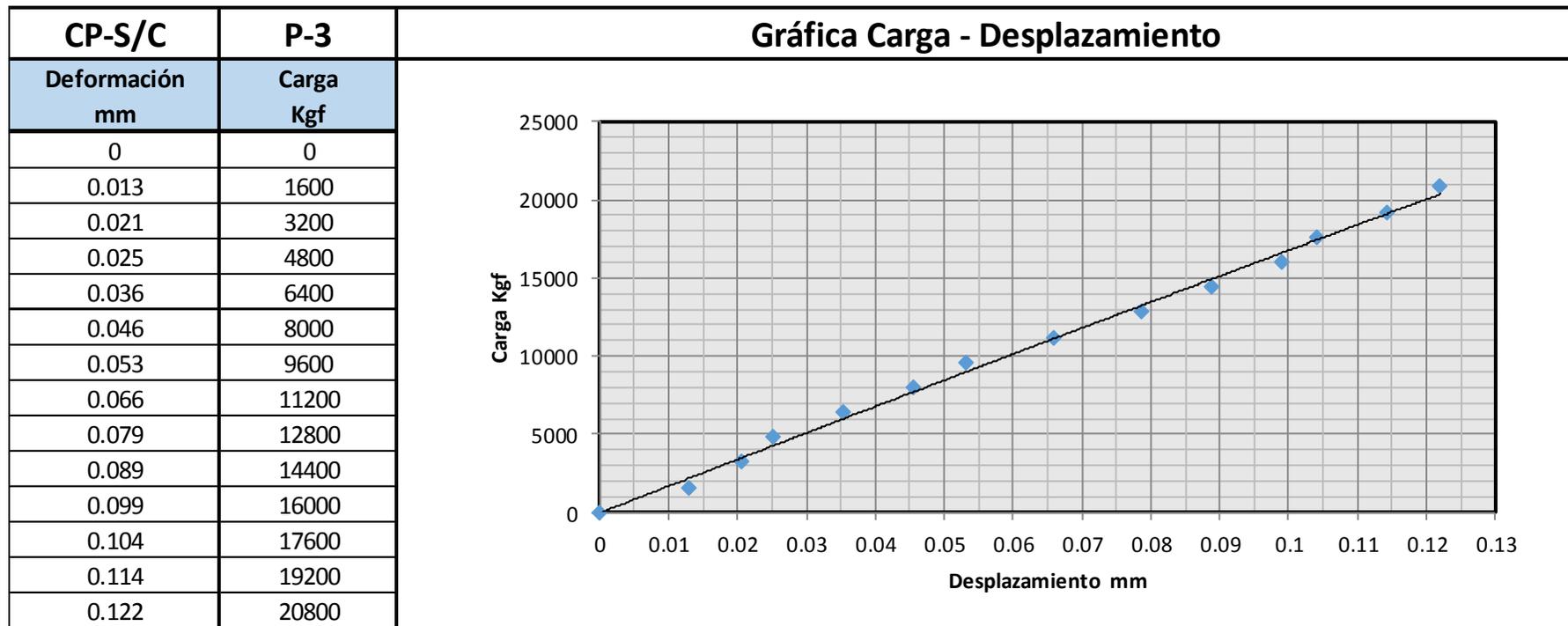
Diametro : 15.10 cm
Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 50233.00 kgf
f'cr : 280.51 kgf/cm²
Area: 179.08 cm²

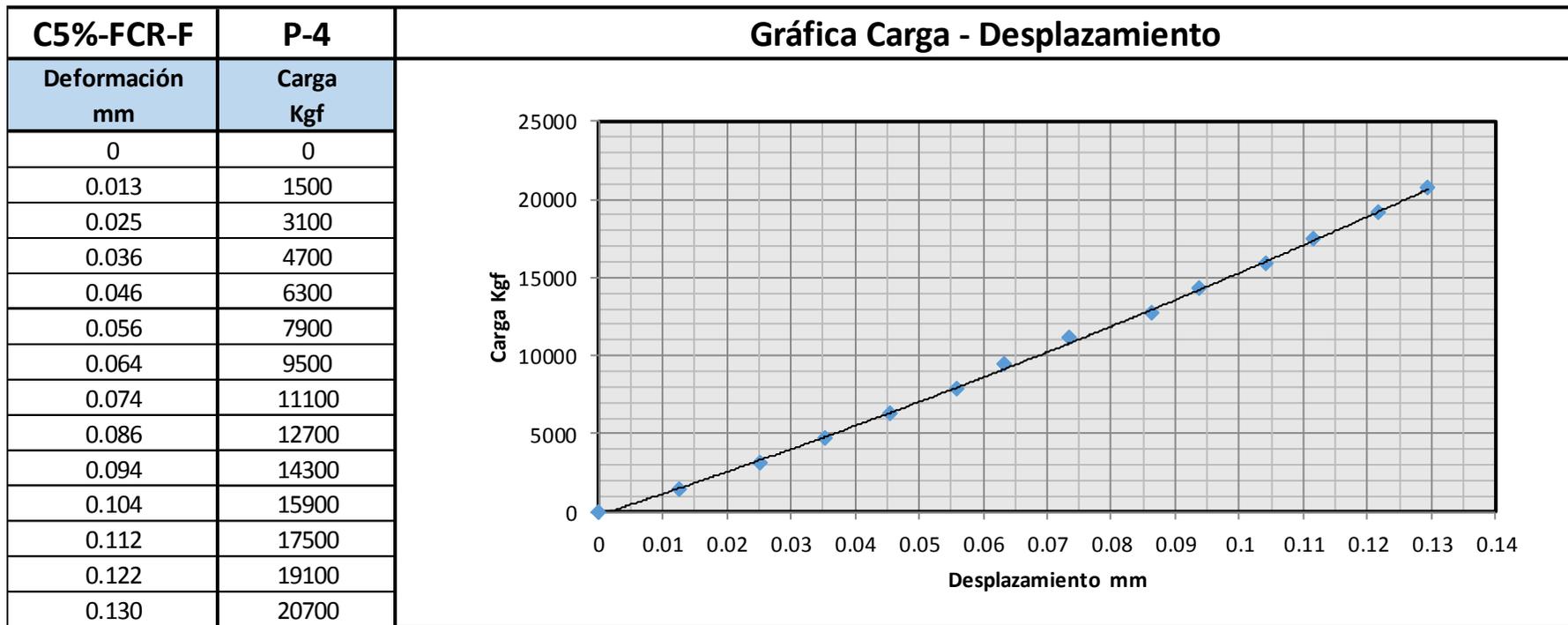
Diametro : 15.10 cm
Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 46168.00 kgf
f'cr : 257.81 kgf/cm²
Area: 179.08 cm²

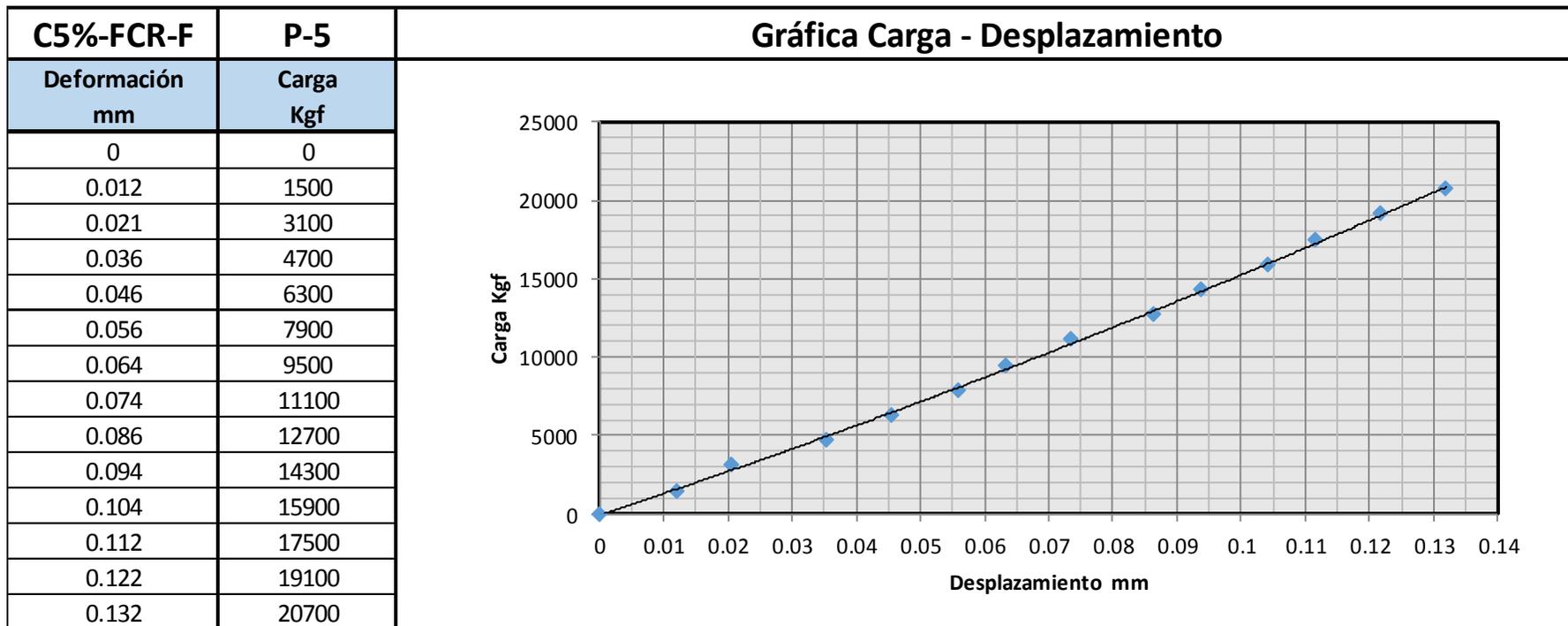
Diametro : 15.10 cm
Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 47057.00 kgf
f'cr : 262.77 kgf/cm²
Area: 179.08 cm²

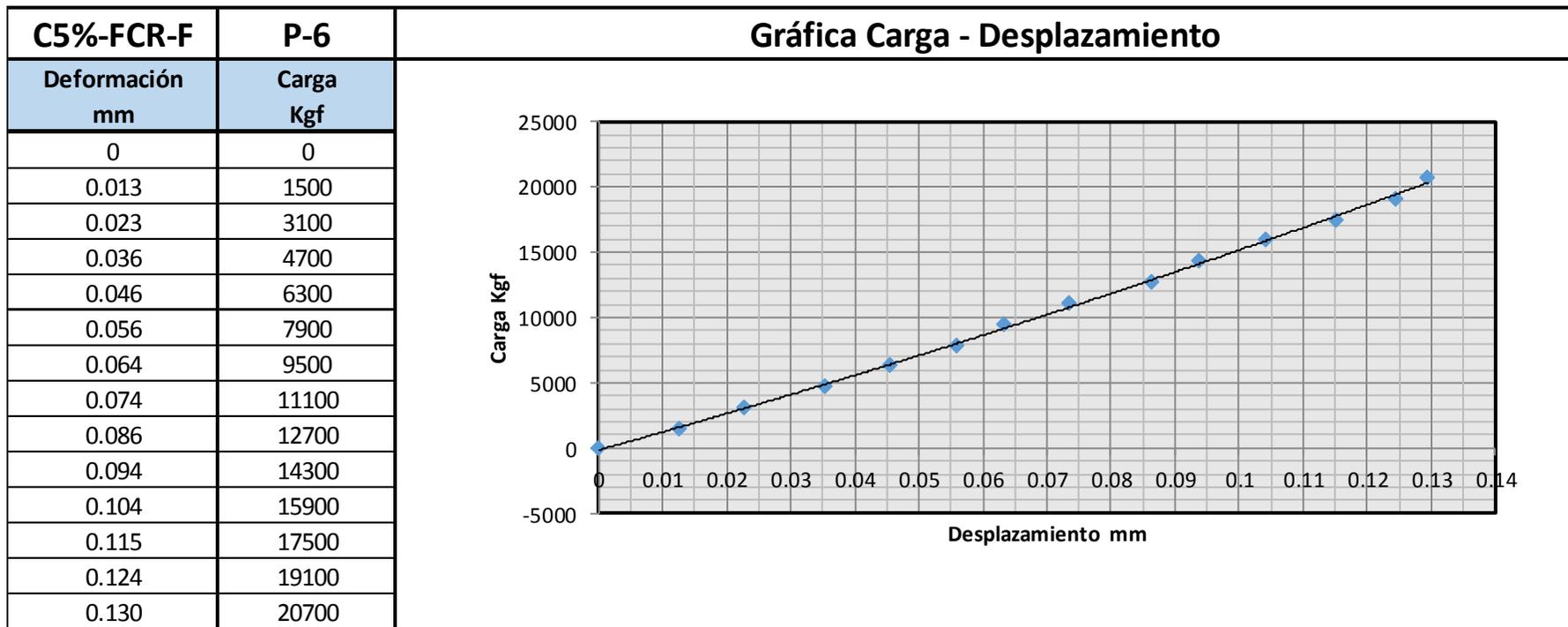
Diametro : 15.10 cm
Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 46285.00 kgf
f'cr : 258.46 kgf/cm²
Area: 179.08 cm²

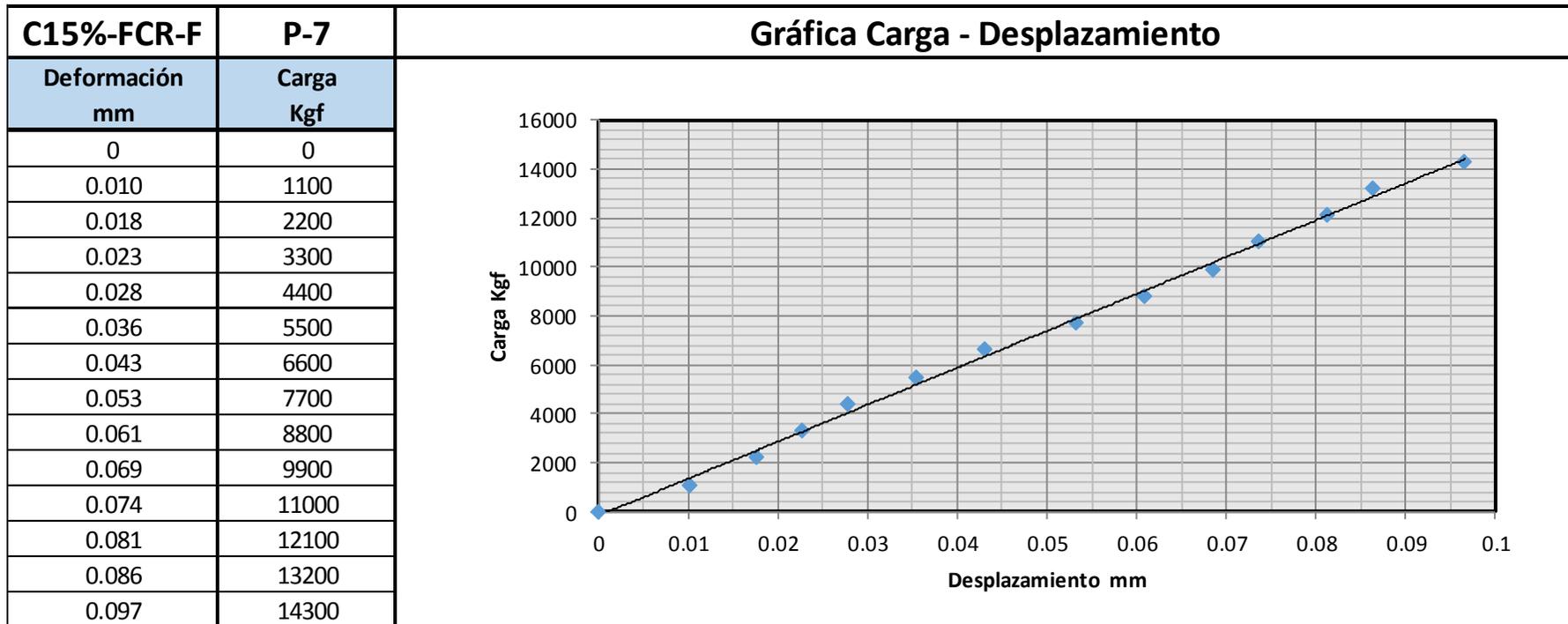
Diametro : 15.10 cm
Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 33678.00 kgf
 f'_{cr} : 188.06 kgf/cm²
 Area: 179.08 cm²

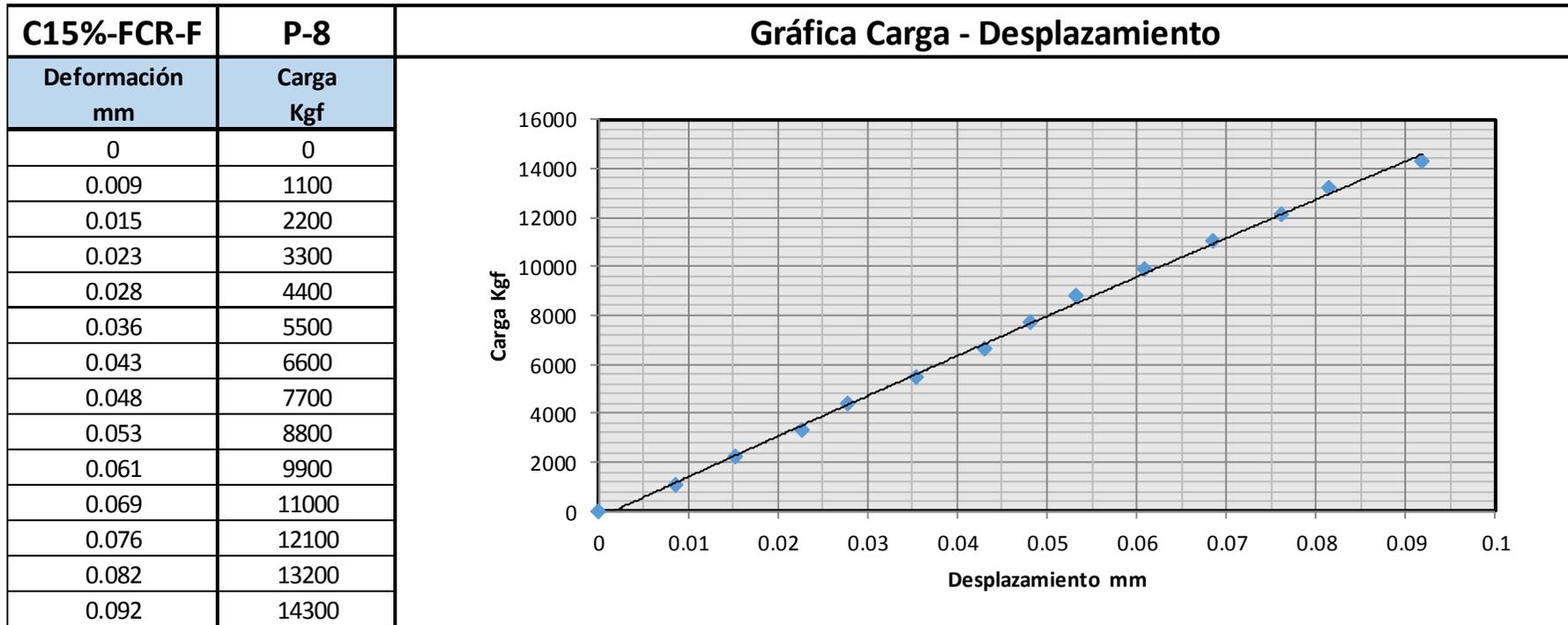
Diametro : 15.10 cm
 Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 34667.00 kgf
f' cr : 193.59 kgf/cm²
Area: 179.08 cm²

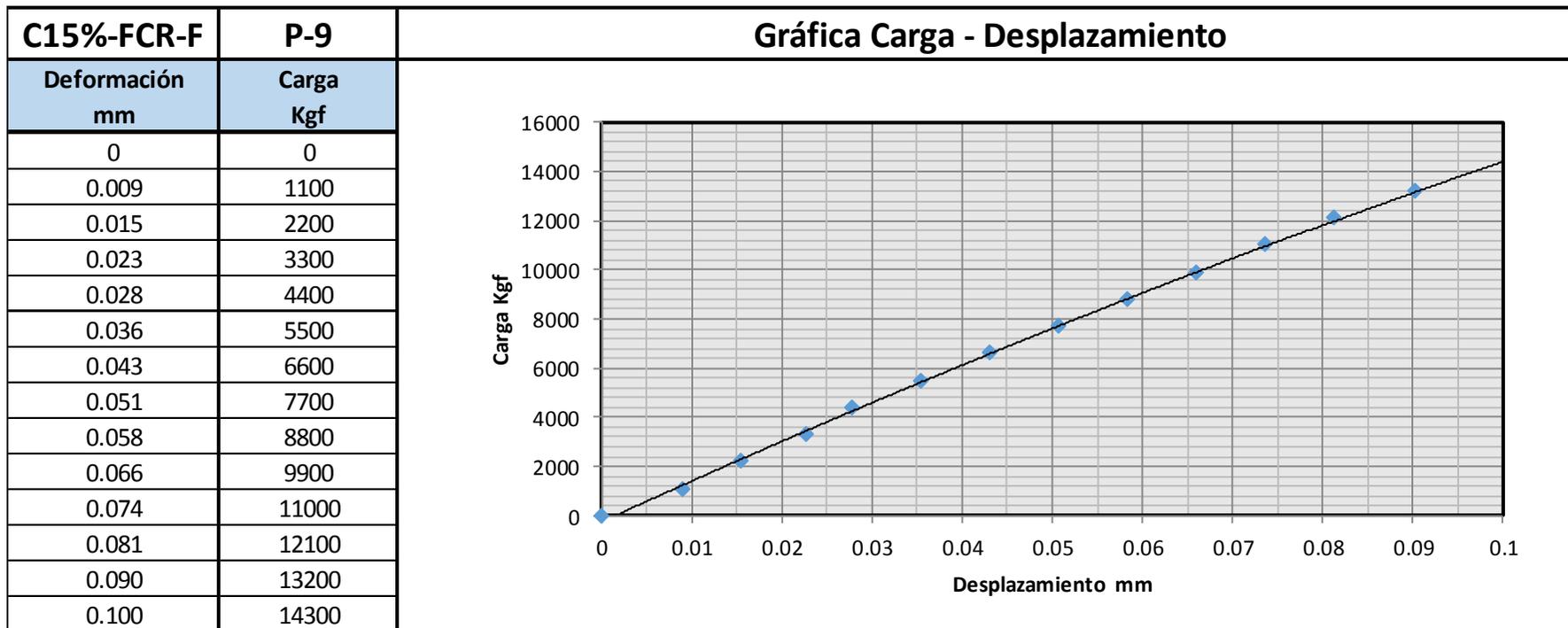
Diametro : 15.10 cm
Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 33417.00 kgf
f'cr : 186.61 kgf/cm²
Area: 179.08 cm²

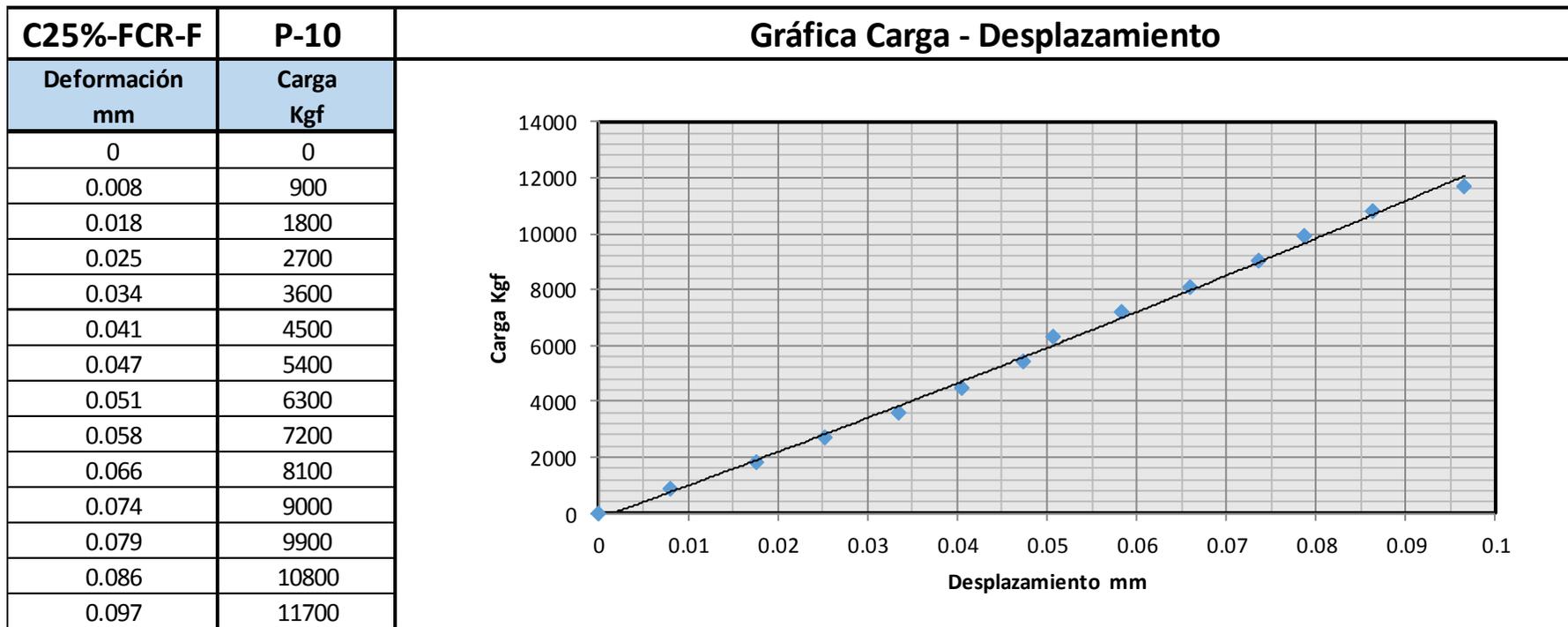
Diametro : 15.10 cm
Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 27454.00 kgf
f'cr : 151.30 kgf/cm²
Area: 181.46 cm²

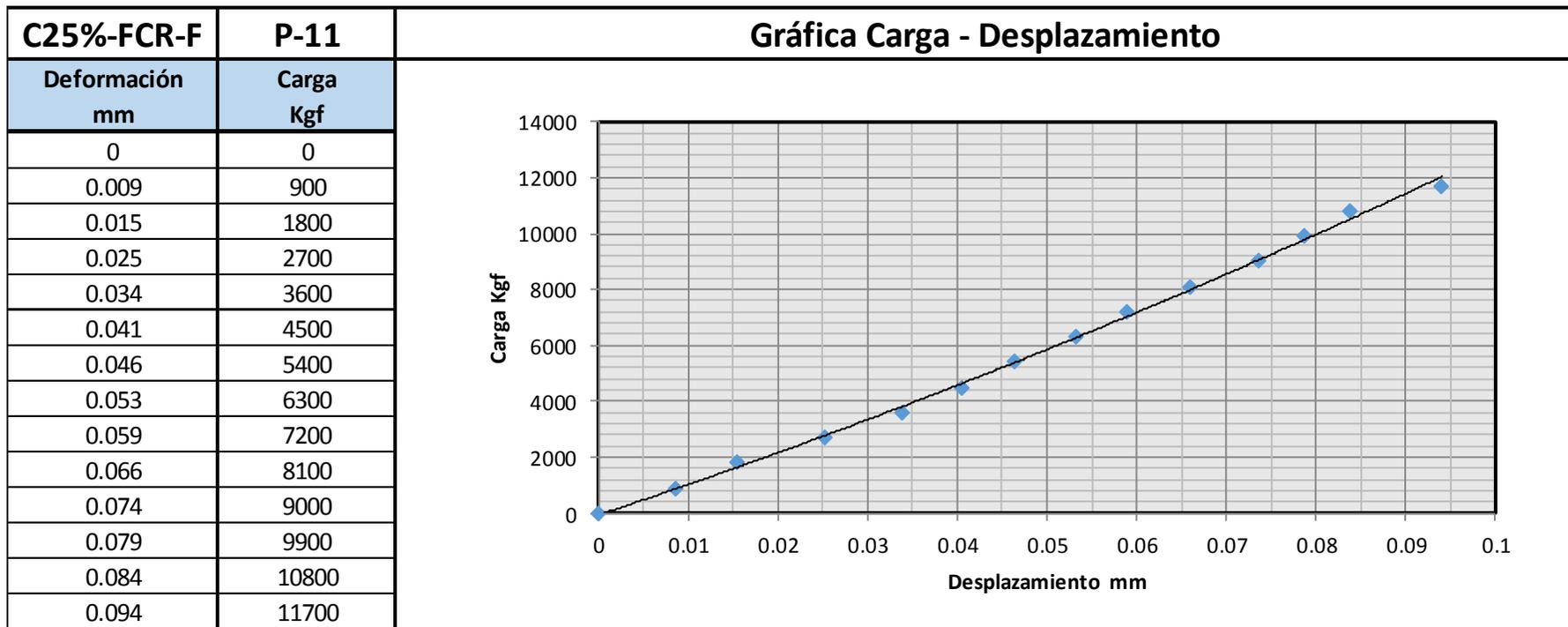
Diametro : 15.20 cm
Altura: 30.20 cm





Carga Máxima: 28337.00 kgf
f'cr : 156.16 kgf/cm²
Area: 181.46 cm²

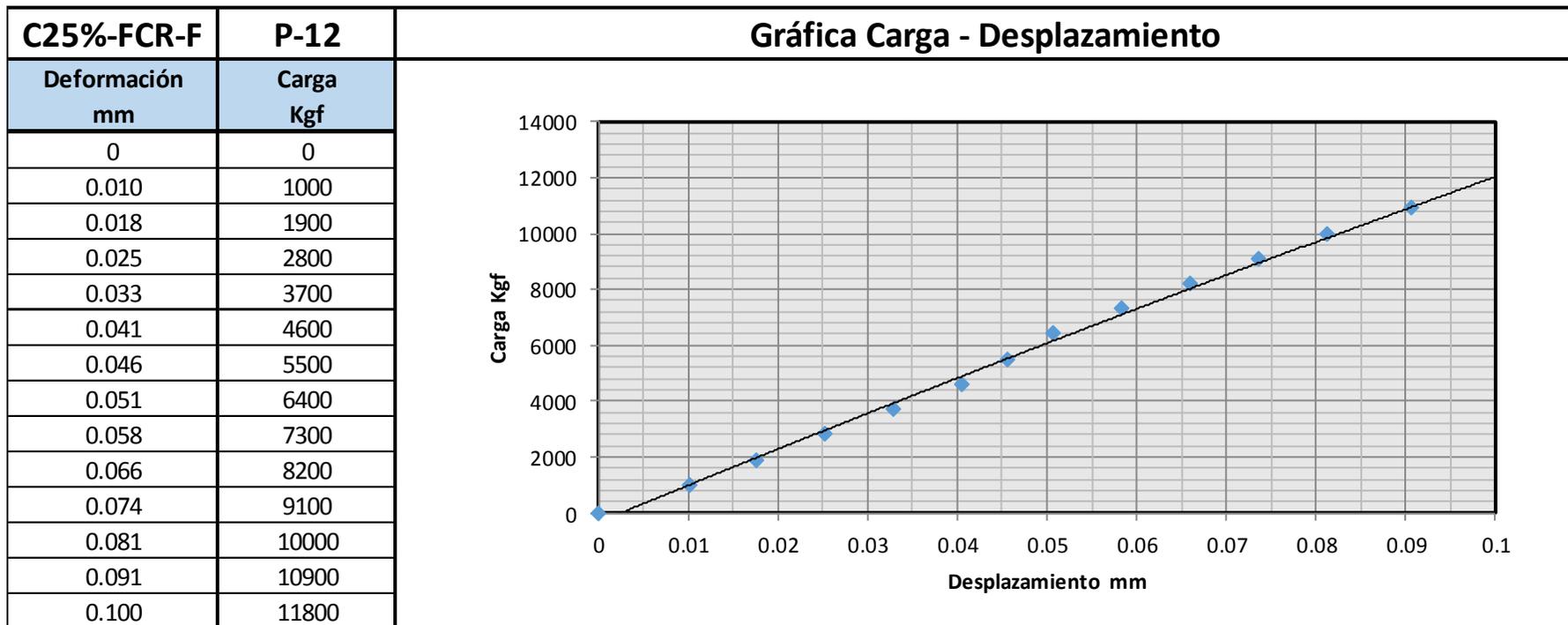
Diametro : 15.20 cm
Altura: 30.20 cm





Carga Máxima: 29321.00 kgf
 f'cr : 161.59 kgf/cm²
 Area: 181.46 cm²

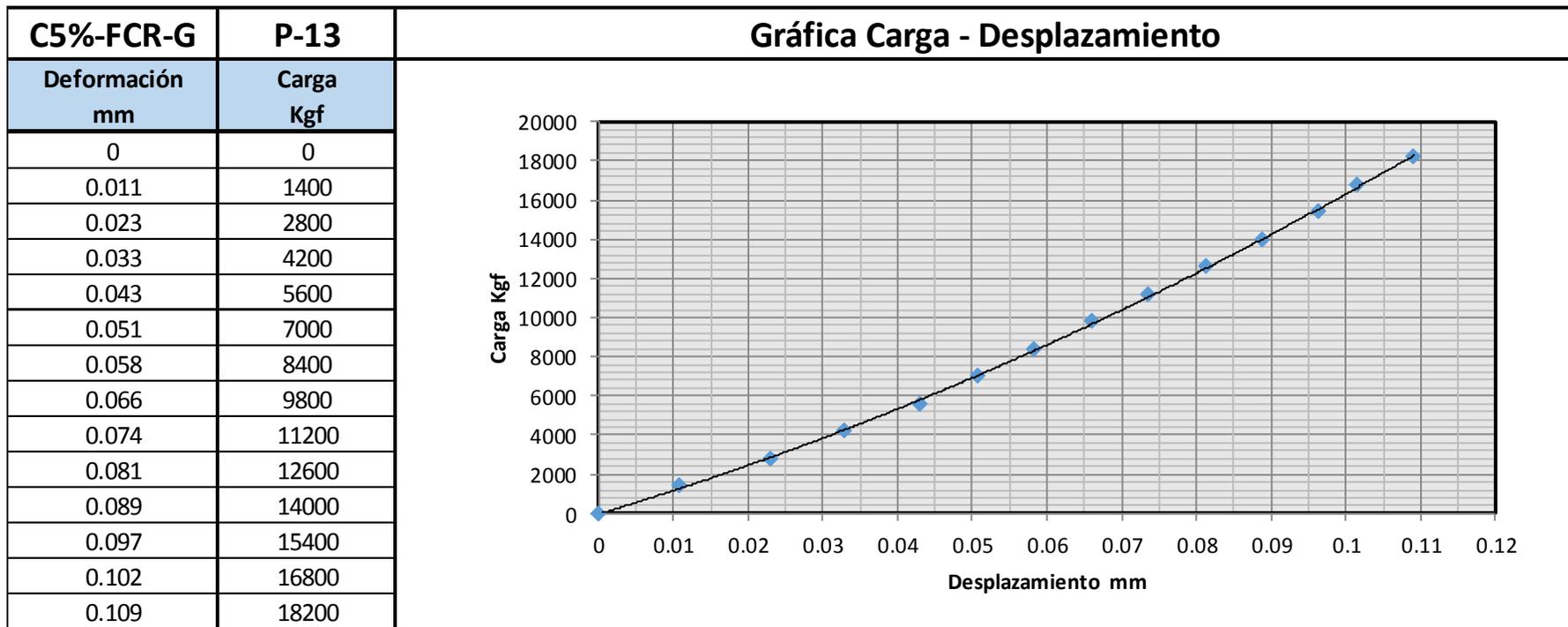
Diametro : 15.20 cm
 Altura: 30.20 cm





Carga Máxima: 43194.00 kgf
f'cr : 241.20 kgf/cm²
Area: 179.08 cm²

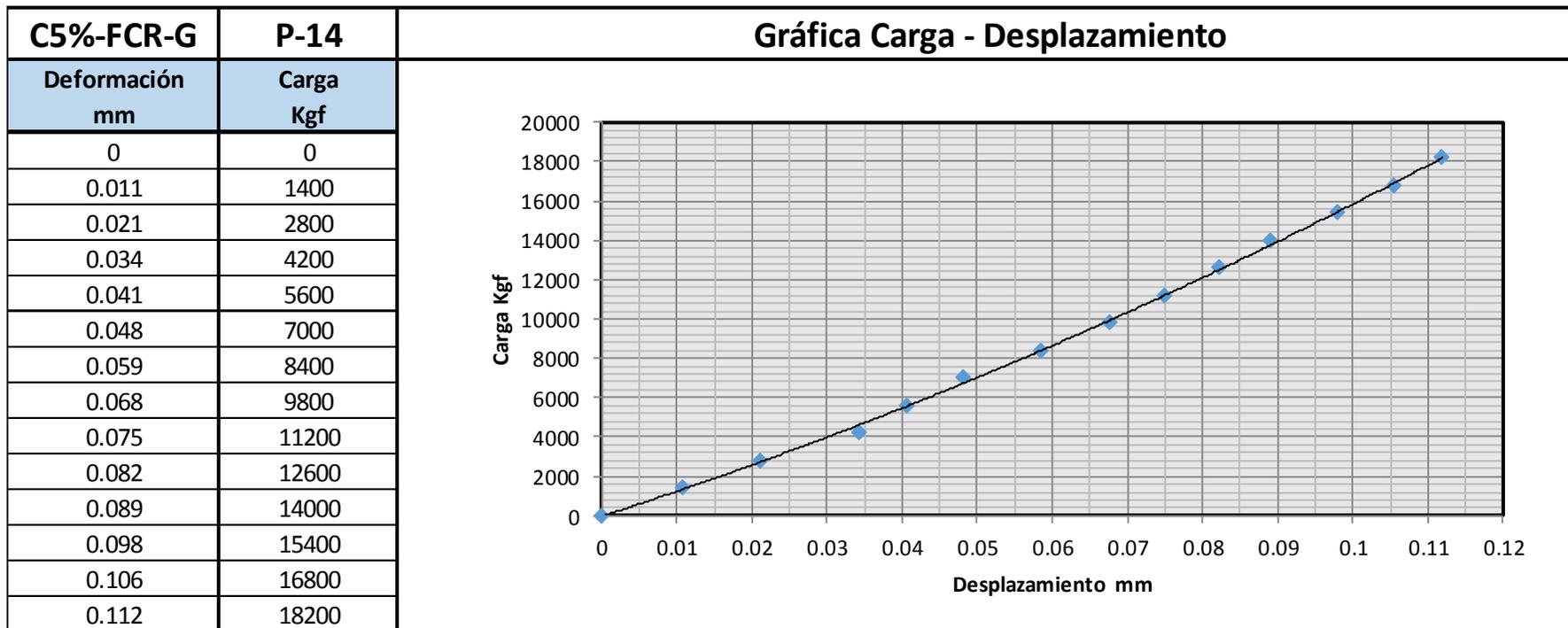
Diametro : 15.10 cm
Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 42356.00 kgf
f'cr : 236.52 kgf/cm²
Area: 179.08 cm²

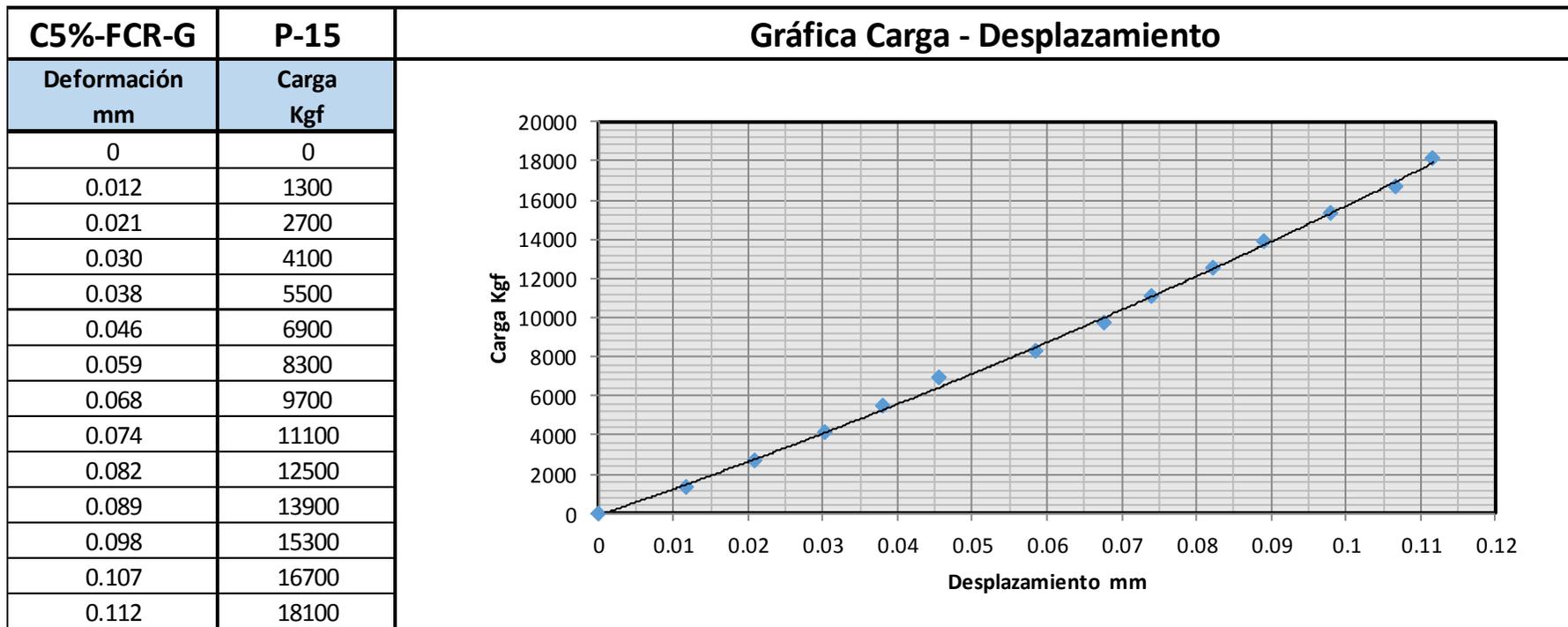
Diametro : 15.10 cm
Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 42067.00 kgf
 f'_{cr} : 234.91 kgf/cm²
 Area: 179.08 cm²

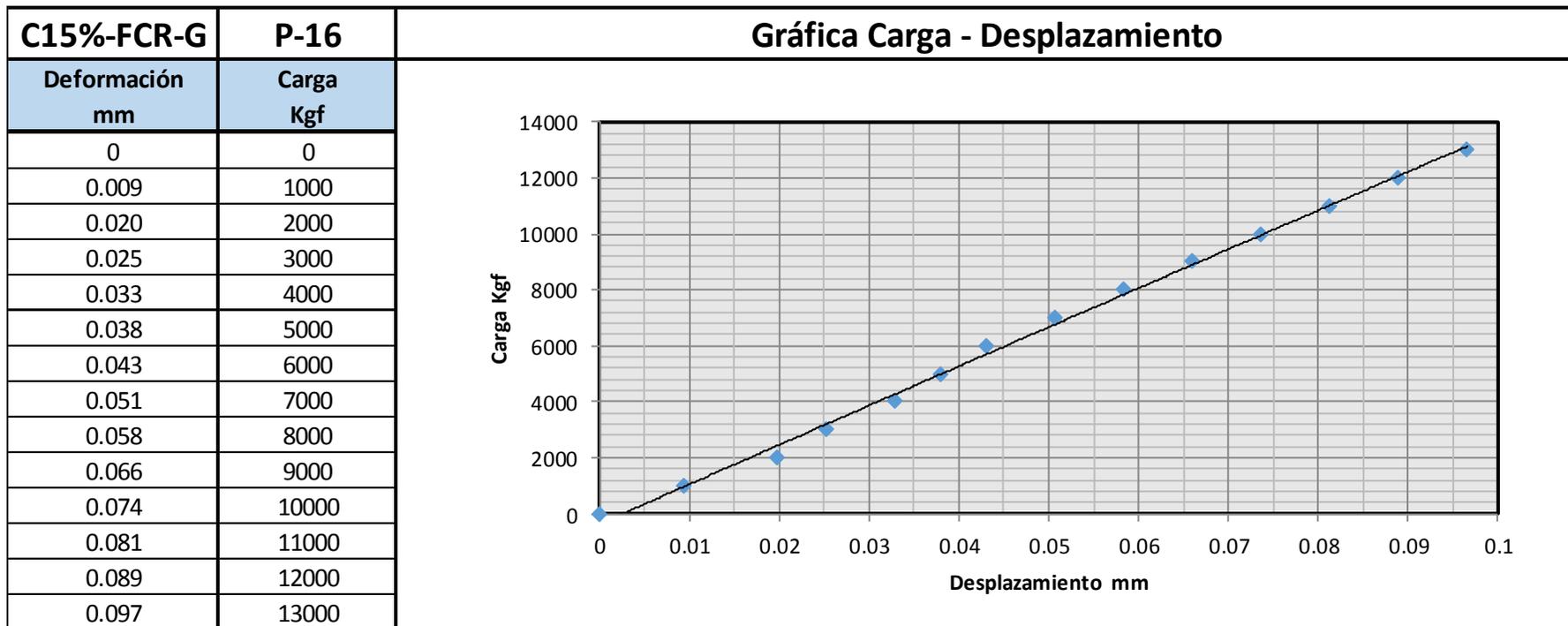
Diametro : 15.10 cm
 Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 30521.00 kgf
f'cr : 170.43 kgf/cm²
Area: 179.08 cm²

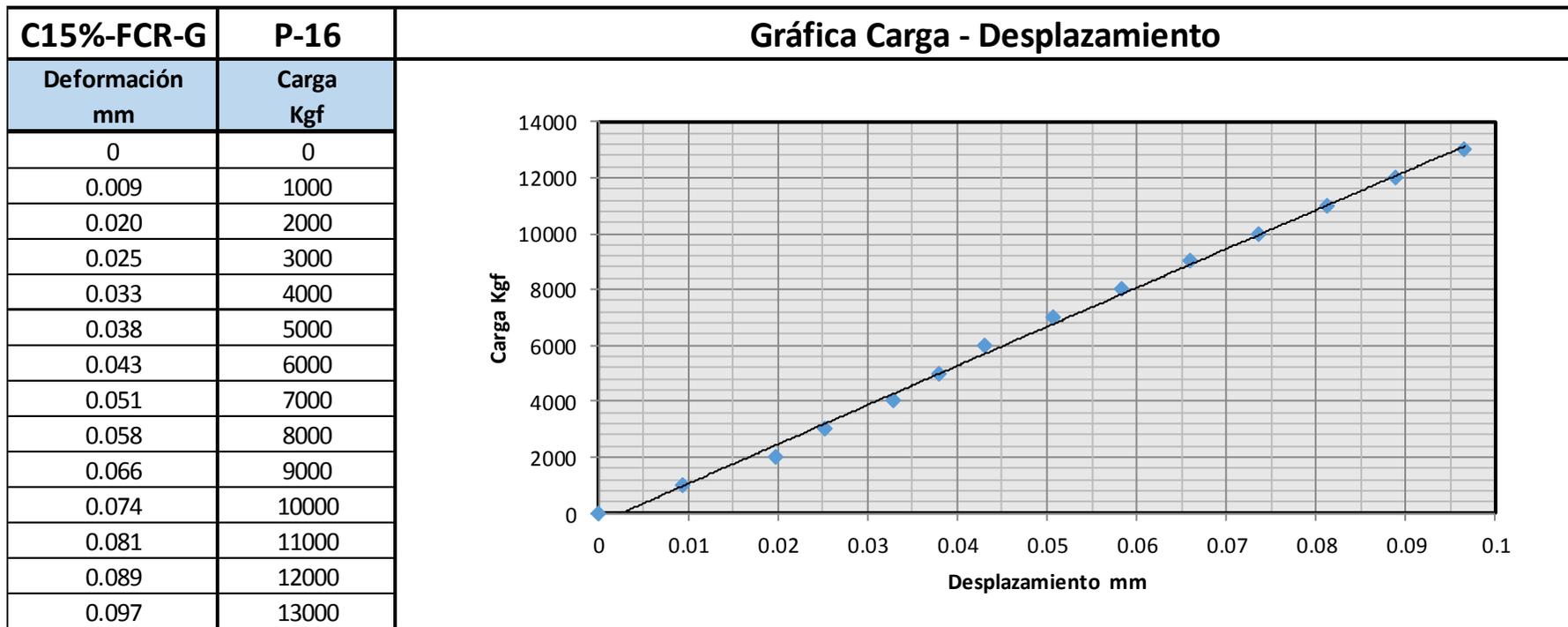
Diametro : 15.10 cm
Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 30521.00 kgf
 f'_{cr} : 170.43 kgf/cm²
 Area: 179.08 cm²

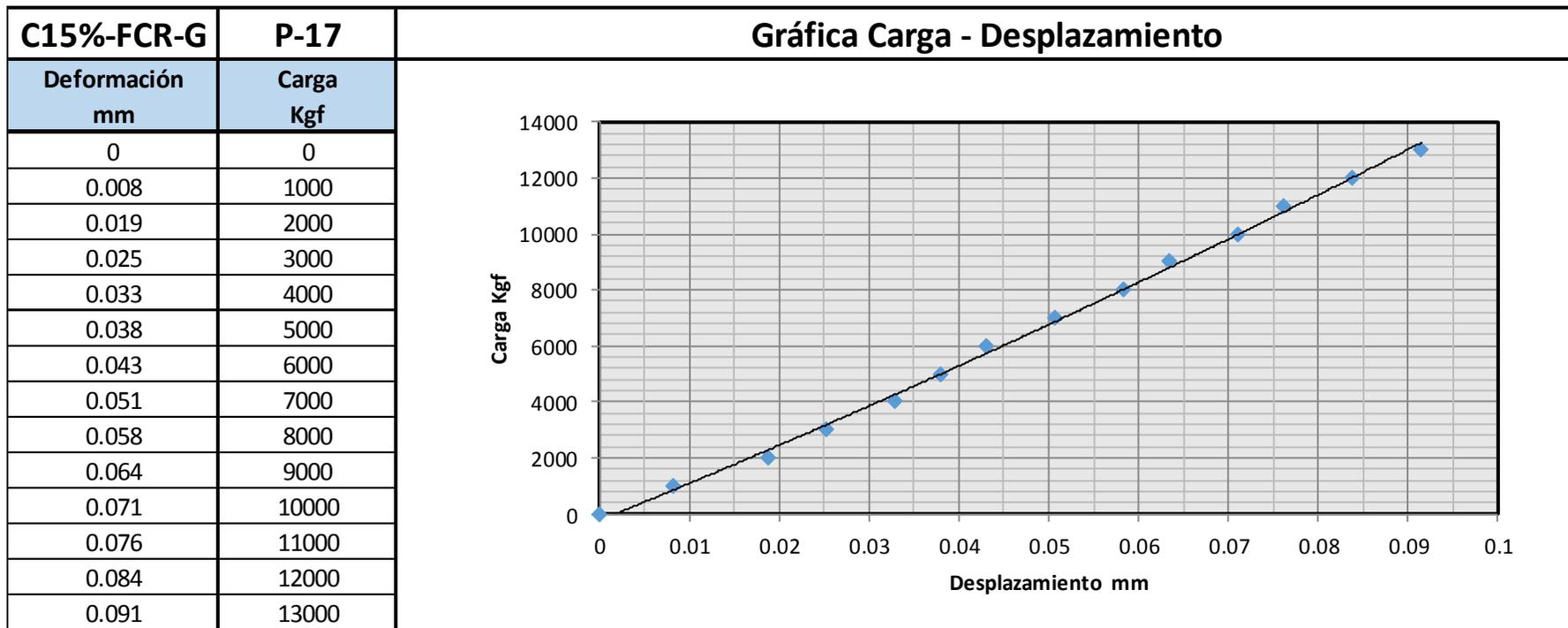
Diametro : 15.10 cm
 Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 31769.00 kgf
f'cr : 177.40 kgf/cm²
Area: 179.08 cm²

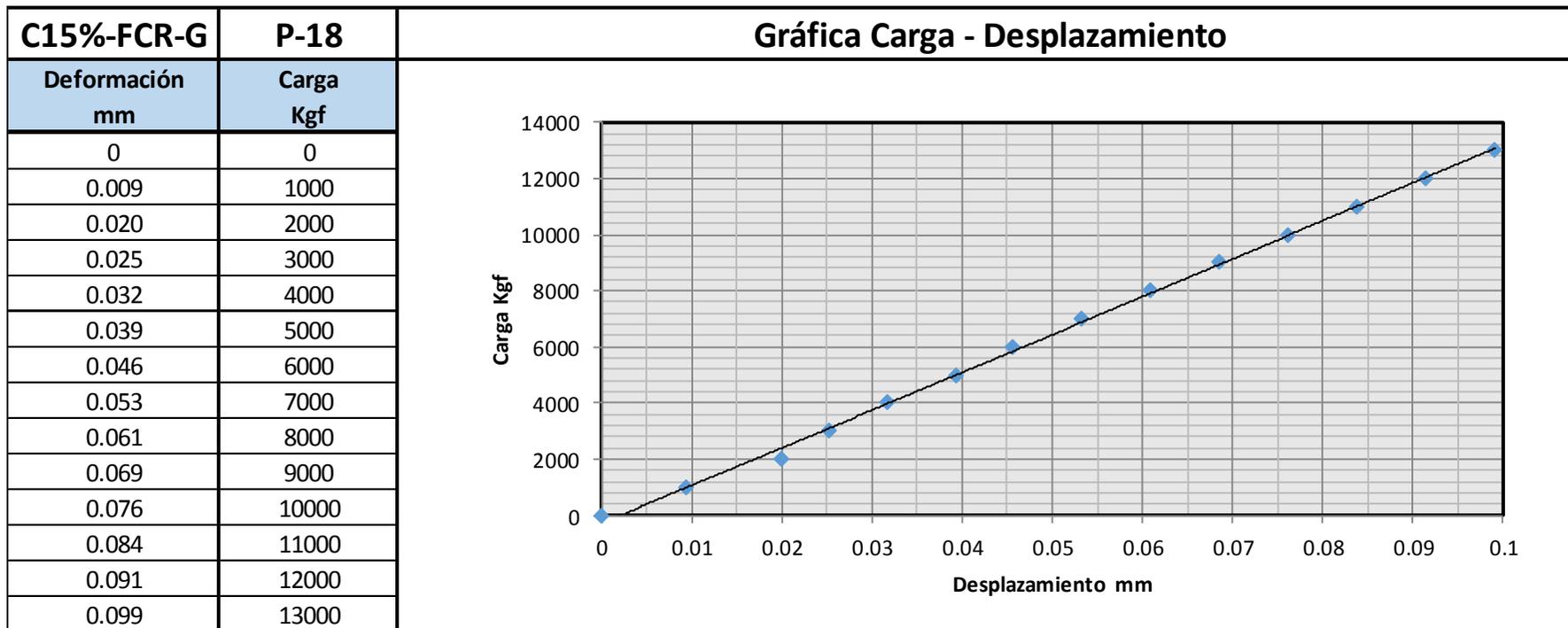
Diametro : 15.10 cm
Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 30229.00 kgf
f'cr : 168.80 kgf/cm²
Area: 179.08 cm²

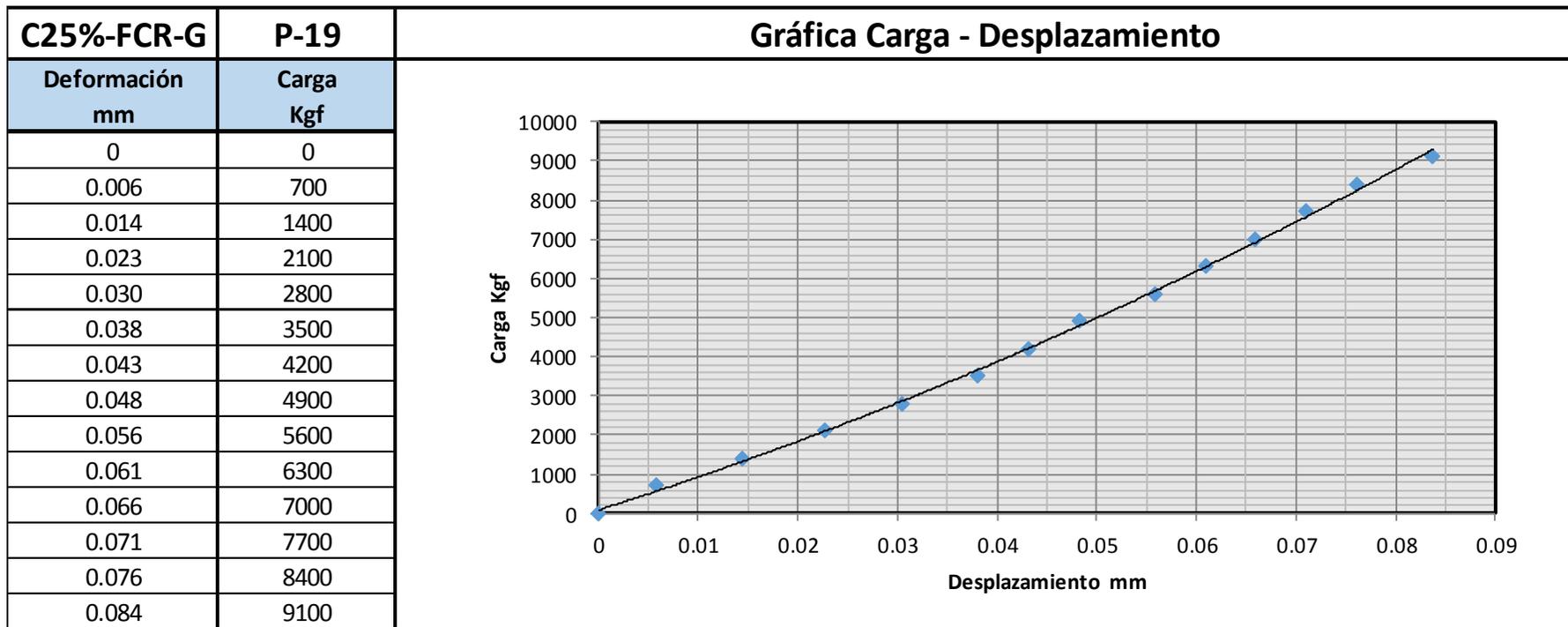
Diametro : 15.10 cm
Altura: 30.00 cm





Carga Máxima: 22036.00 kgf
f'cr : 121.44 kgf/cm²
Area: 181.46 cm²

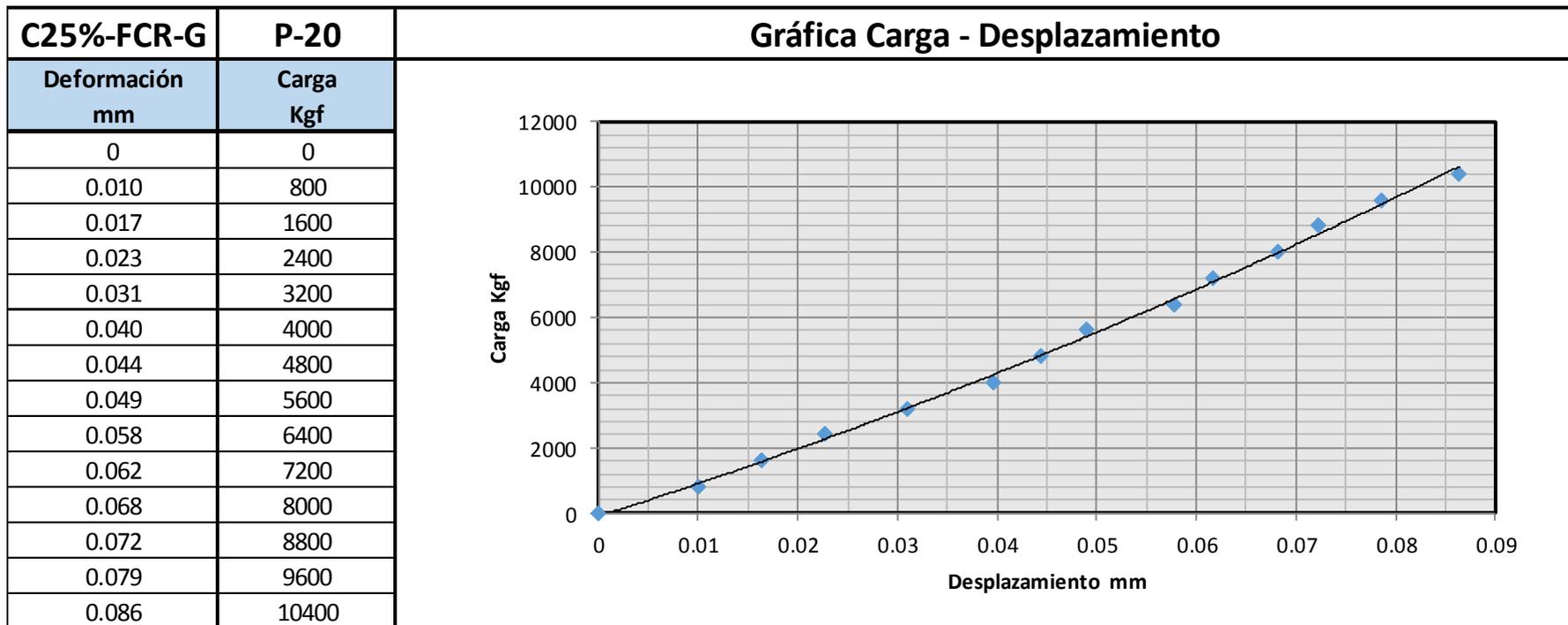
Diametro : 15.20 cm
Altura: 30.20 cm





Carga Máxima: 24367.00 kgf
f'cr : 134.28 kgf/cm²
Area: 181.46 cm²

Diametro : 15.20 cm
Altura: 30.20 cm





Carga Máxima: 23442.00 kgf
f'cr : 129.19 kgf/cm²
Area: 181.46 cm²

Diametro : 15.20 cm
Altura: 30.20 cm

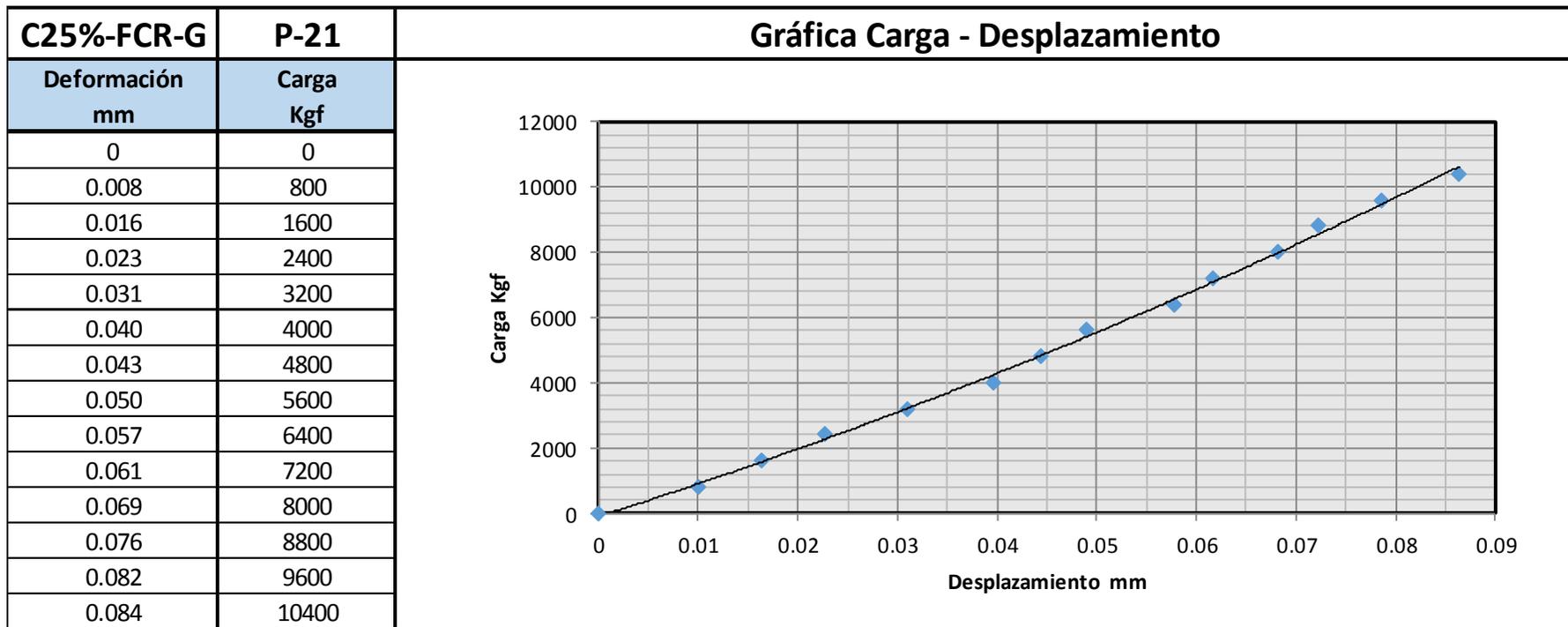




TABLA DE CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

Nomenclatura	Pu	Esfuerzo S2	Esfuerzo S1	ϵ unitaria	ϵ unitaria	Longitud	Diametro	Area	Ec	
Probeta	Kgf	(40%Fu) kg	(0.000050) kg	$\epsilon 2(S2)$	$\epsilon 1(0.000050)$	mm	cm	cm2	kg/cm2	
CP-S/C	P-1	50846.33	20338.53	2209.76	4.23E-04	0.00005	300	15.1	179.08	271063
CP-S/C	P-2	51894.00	20757.60	1860.91	4.23E-04	0.00005	300	15.1	179.08	283159
CP-S/C	P-3	50233.00	20093.20	2015.75	3.95E-04	0.00005	300	15.1	179.08	292448
C5%-FCR-F	P-4	46168.00	18467.20	1789.76	3.93E-04	0.00005	300	15.1	179.08	271509
C5%-FCR-F	P-5	47057.00	18822.80	2036.01	4.01E-04	0.00005	300	15.1	179.08	267422
C5%-FCR-F	P-6	46285.00	18514.00	1862.20	4.04E-04	0.00005	300	15.1	179.08	262893
C15%-FCR-F	P-7	33678.00	13471.20	1798.69	2.96E-04	0.00005	300	15.1	179.08	264731
C15%-FCR-F	P-8	34667.00	13866.80	2160.02	2.93E-04	0.00005	300	15.1	179.08	269219
C15%-FCR-F	P-9	33417.00	13366.80	2114.43	3.06E-04	0.00005	300	15.1	179.08	245169
C25%-FCR-F	P-10	27454.00	10981.60	1540.78	2.95E-04	0.00005	302	15.2	181.46	212618
C25%-FCR-F	P-11	28337.00	11334.80	1735.17	3.00E-04	0.00005	302	15.2	181.46	212014
C25%-FCR-F	P-12	29321.00	11728.40	1571.65	3.31E-04	0.00005	302	15.2	181.46	199125
C5%-FCR-G	P-13	43194.00	17277.60	1868.27	3.47E-04	0.00005	300	15.1	179.08	289401
C5%-FCR-G	P-14	42356.00	16942.40	1960.53	3.54E-04	0.00005	300	15.1	179.08	274870
C5%-FCR-G	P-15	42067.00	16826.80	1768.81	3.57E-04	0.00005	300	15.1	179.08	273777
C15%-FCR-G	P-16	30521.00	12208.40	1537.93	3.02E-04	0.00005	300	15.1	179.08	236801
C15%-FCR-G	P-17	31769.00	12707.60	1635.49	2.97E-04	0.00005	300	15.1	179.08	249940
C15%-FCR-G	P-18	30229.00	12091.60	1525.12	3.07E-04	0.00005	300	15.1	179.08	229478
C25%-FCR-G	P-19	22036.00	8814.40	1443.59	2.69E-04	0.00005	302	15.2	181.46	185448
C25%-FCR-G	P-20	24367.00	9746.80	1409.76	2.67E-04	0.00005	302	15.2	181.46	211602
C25%-FCR-G	P-21	23442.00	9376.80	1498.20	2.68E-04	0.00005	302	15.2	181.46	199130



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"

3.3. ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DIAMETRAL

FORMULACION	Nº probeta	Día	Diámetro (± 0.1 mm)	Altura (± 0.1 mm)	Carga Màxima kgf	Compresión kgf/cm ²
CP-S/C	1	28	15.1	30.0	20458	28.8
	2	28	15.1	30.0	21026	29.5
	3	28	15.2	30.1	19859	27.6
C5%-FCR-F	4	28	15.1	30.0	20062	28.2
	5	28	15.1	30.0	22291	31.3
	6	28	15.2	30.1	19997	27.8
C15%-FCR-F	7	28	15.1	30.0	17486	24.6
	8	28	15.1	30.0	18994	26.7
	9	28	15.2	30.1	19248	26.8
C25%-FCR-F	10	28	15.1	30.0	14609	20.5
	11	28	15.1	30.0	15115	21.2
	12	28	15.2	30.1	15946	22.2
C5%-FCR-G	13	28	15.1	30.0	21251	29.9
	14	28	15.1	30.0	20892	29.4
	15	28	15.2	30.1	19228	26.8
C15%-FCR-G	16	28	15.1	30.0	17075	24.0
	17	28	15.1	30.0	16673	23.4
	18	28	15.2	30.1	16011	22.3
C25%-FCR-G	19	28	15.1	30.0	15033	21.1
	20	28	15.1	30.0	14872	20.9
	21	28	15.2	30.1	14097	19.6



ANEXO Nº 04: Reglamento Nacional de Edificaciones (E-030)

El peso sísmico efectivo del edificio se determina en concordancia con el Artículo 16.3 de la RNE E.030 que se presenta a continuación.

Peso de la Edificación

El peso (P), se calculará adicionando a la carga permanente y total de la Edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de la siguiente manera:

- a. En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50% de la carga viva.
- b. En edificaciones de la categoría C, se tomará el 25% de la carga viva.
- c. En depósitos, el 80% del peso total que es posible almacenar.
- d. En azoteas y techos en general se tomará el 25% de la carga viva.
- e. En estructuras de tanques, silos y estructuras similares se considerará el 100% de la carga que puede contener.

El factor de Uso del RNE en la tabla N°03 de la E-030 que se muestra a continuación.



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo, como hospitales, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y policía, subestaciones eléctricas, reservorios de agua. Centros educativos y edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. También se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, como grandes hornos, depósitos de materiales inflamables o tóxicos.	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas como teatros, estadios, centros comerciales, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos, bibliotecas y archivos especiales. También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes, cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía intermedia como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios, fugas de contaminantes, etc.	1,0
D Edificaciones Menores	Edificaciones cuyas fallas causan pérdidas de menor cuantía y normalmente la probabilidad de causar víctimas es baja, como cercos de menos de 1,50m de altura, depósitos temporales, pequeñas viviendas temporales y construcciones similares.	(*)

(*) En estas edificaciones, a criterio del proyectista, se podrá omitir el análisis por fuerzas sísmicas, pero deberá proveerse de la resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales.



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"

Z = es el factor de zona, el cual lo encontramos en la Tabla N°1 de la E.030. Para propósitos de este ejemplo, se supuso que el Edificio será construido en Chimbote, entonces:

ZONA	Z
3	0,4
2	0,3
1	0,15

S = es el factor de suelo, que tiene que ver con el EMS, de acuerdo a las condiciones locales establecidas en la Tabla N°2, se supuso para este ejemplo un suelo tipo S3, por lo tanto:

Tipo	Descripción	T_p (s)	S
S ₁	Roca o suelos muy rígidos	0,4	1,0
S ₂	Suelos intermedios	0,6	1,2
S ₃	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0,9	1,4
S ₄	Condiciones excepcionales	*	*

(*) Los valores de T_p y S para este caso serán establecidos por el especialista, pero en ningún caso serán menores que los especificados para el perfil tipo S₃.

En la tabla N° 6 del RNE, E-030 del artículo 12, se muestran los sistemas estructurales.



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"

Sistema Estructural	Coefficiente de Reducción, R Para estructuras regulares (*) (**)
Acero	
Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos.	9,5
Otras estructuras de acero.	
Arriostres Excéntricos	6,5
Arriostres en Cruz	6,0
Concreto Armado	
Pórticos ⁽¹⁾ .	8
Dual ⁽²⁾ .	7
De muros estructurales ⁽³⁾ .	6
Muros de ductilidad limitada ⁽⁴⁾ .	4
Albañilería Armada o Confinada ⁽⁵⁾ .	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

En el artículo 17.2 de la E-030 se detalla el periodo fundamental para cada dirección:

- a. El periodo fundamental para cada dirección se estimará con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

donde :

$C_T = 35$ para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente pórticos.

$C_T = 45$ para edificios de concreto armado cuyos elementos sismorresistentes sean pórticos y las cajas de ascensores y escaleras.

$C_T = 60$ para estructuras de mampostería y para todos los edificios de concreto armado cuyos elementos sismorresistentes sean fundamentalmente muros de corte.



En el artículo 17.3 de la E-030 se muestra la fuerza cortante en la base como se detalla a continuación.

c. Fuerza Cortante Mínima en la Base

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en la base del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado según el Artículo 17 (17.3) para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares.

En el artículo 16.4 de la E-030 se muestra los desplazamientos laterales que se detallan a continuación.

Desplazamientos Laterales

Los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0,75R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para el cálculo de los desplazamientos laterales no se considerarán los valores mínimos de C/R indicados en el Artículo 17 (17.3) ni el cortante mínimo en la base especificado en el Artículo 18 (18.2 d).

Tabla N° 8 de la E-030 nos proporciona distintos límites de derivas elásticas.

a) Desplazamientos Laterales Permisibles

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el Artículo 16 (16.4), no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso que se indica en la Tabla N° 8.

Tabla N° 8	
LÍMITES PARA DESPLAZAMIENTO LATERAL DE ENTREPISO	
Estos límites no son aplicables a naves industriales	
Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010



ANEXO Nº 05: RESULTADOS DEL PROGRAMA ETABS V.15

5.1. Modelamiento del concreto patrón (CP-S/C).

- El periodo fundamental de la edificación es de:

$$T = 0.355$$

- El factor de amplificación sísmica de la edificación es de:

$$C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right) \quad , \quad C \leq 2.5$$

$$C = 2.5 \left(\frac{0.9}{0.355} \right) = 6.34 \geq 2.5$$

$$\therefore C = 2.5$$

- Evaluando el valor de C/R

$$\frac{C}{R} = \frac{2.5}{6} = 0.417 \geq 0.125$$

- Determinando el valor de ZUSC/R

$$\frac{ZUSC}{R} = (0.40)(1.3)(0.417)$$

$$\frac{ZUSC}{R} = 0.3033$$

En la figura A se detalla la cortante basal estática hallada por el programa EtbasV15 para el concreto patrón sin caucho (CP-S/C)



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"

En la figura 3.21 se detalla la cortante basal estática hallada por el programa EtbasV15 para el concreto patrón sin caucho (CP-S/C).

Story	Diaphragm	Mass X kg	Mass Y kg	XCM m	YCM m	Cumulative X kg	Cumulative Y kg
Techo	D1	342843.58	342843.58	11	11	342843.58	342843.58
Story5	D1	652567.68	652567.68	11	11	995411.26	995411.26
Story4	D1	652567.68	652567.68	11	11	1647978.94	1647978.94
Story3	D1	652567.68	652567.68	11	11	2300546.62	2300546.62
Story2	D1	652567.68	652567.68	11	11	2953114.3	2953114.3
Story1	D1	690266.58	690266.58	11	11	3643380.88	3643380.88

Figura A. Masas sísmicas efectivas del edificio (CP-S/C).

Fuente: Propia del autor.

Entonces siendo el valor del peso sísmico efectivo del edificio igual a $P = 3643.380$ Tn. Luego, el cortante en la Base del edificio será:

$$V = 0.3033 \times 3643.380 = 1105.159 \text{ Tn.}$$

Después de haber realizado el análisis, se procede con la visualización del cortante dinámico mediante Tablas, siendo la Tabla "Story Forces" la que usaremos para este propósito, misma que se muestra en la figura B. Aquí podemos ver los valores para el cortante dinámico en las direcciones X e Y, previo filtro de datos.

Story	Load Case/Combo	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf
Story1	EQ-XX Max	Bottom	0	854.7302	0
Story1	EQ-YY Max	Bottom	0	0	854.7302

Figura B. Visualización mediante tablas de los cortantes dinámicos (CP-S/C).

Fuente: Propia del autor.

$$\therefore V_X = V_Y = 854.730 \text{ Tn}$$



De acuerdo con el modelo del concreto sin caucho (CP-S/C), el edificio es totalmente regular tanto en planta como en altura, entonces el factor mínimo a escalar será:

$$FS = 0.80 \left(\frac{V_{ESTÁTICO}}{V_{DINÁMICO}} \right) = 0.80 \left(\frac{1105.159}{854.730} \right)$$
$$\therefore FS = 1.035$$

5.2. Concreto patrón (CP-S/C).

Tabla 5A. Peso de la edificación (CP-S/C)

Nº DE PISO	PESO (Tnf)
Techo	342.844
Story5	652.568
Story4	652.568
Story3	652.568
Story2	652.568
Story1	690.267
Total	3643.381

Tabla 5B. Derivas Inelásticas del sismo estático (CP-S/C)

PISO	Altura m	DEZP. mm	DERIVAS Δ elásticas	DERIVAS Δ inelástica	DERIVAS Δ inelástica (%)	DERIVA LÍMITE (%)
Techo	22.50	17.541	0.000875	0.003936	0.394%	0.700%
Story5	19.00	14.480	0.000931	0.004189	0.419%	0.700%
Story4	15.50	11.222	0.000952	0.004285	0.429%	0.700%
Story3	12.00	7.889	0.000908	0.004085	0.409%	0.700%
Story2	8.50	4.711	0.000774	0.003485	0.348%	0.700%
Story1	5.00	2.001	0.000400	0.001801	0.180%	0.700%



Tabla 5C. Derivas Inelásticas del sismo estático (CP-S/C)

PISO	Altura m	DEZP. mm	DERIVAS Δ elásticas	DERIVAS Δ inelástica	DERIVAS Δ inelastica (%)	DERIVA LÍMITE (%)
Techo	22.50	14.586	0.000738	0.003323	0.332%	0.700%
Story5	19.00	12.001	0.000784	0.003527	0.353%	0.700%
Story4	15.50	9.258	0.000796	0.003582	0.358%	0.700%
Story3	12.00	6.472	0.000752	0.003383	0.338%	0.700%
Story2	8.50	3.841	0.000634	0.002855	0.285%	0.700%
Story1	5.00	1.621	0.000324	0.001459	0.146%	0.700%



Figura C. Derivas Inelásticas del sismo estático (CP-S/C)



Figura D. Derivas Inelásticas del sismo dinámico (CP-S/C)



5.3. Concreto con 5% de caucho fino (C5%-FCR-F).

Figura 5D. Pesos de entrepisos (C5%-FCR-F)

Nº DE PISO	PESO (Tnf)
Techo	339.819
Story5	648.616
Story4	648.616
Story3	648.616
Story2	648.616
Story1	685.917
Total	3620.199

Figura 5E. Derivas Inelásticas del sismo estático (C5%-FCR-F)

PISO	Altura m	DEZP. mm	DERIVAS Δ elásticas	DERIVAS Δ inelástica	DERIVAS Δ inelástica (%)	DERIVA LÍMITE (%)
Techo	22.50	18.399	0.000917	0.004128	0.413%	0.700%
Story5	19.00	15.189	0.000976	0.004394	0.439%	0.700%
Story4	15.50	11.771	0.000999	0.004495	0.449%	0.700%
Story3	12.00	8.276	0.000952	0.004286	0.429%	0.700%
Story2	8.50	4.942	0.000812	0.003656	0.366%	0.700%
Story1	5.00	2.099	0.000420	0.001889	0.189%	0.700%

Figura 5F. Derivas Inelásticas del sismo dinámico (C5%-FCR-F)

PISO	Altura m	DEZP. mm	DERIVAS Δ elásticas	DERIVAS Δ inelástica	DERIVAS Δ inelástica (%)	DERIVA LÍMITE (%)
Techo	22.50	15.299	0.000774	0.003485	0.349%	0.700%
Story5	19.00	12.589	0.000822	0.003699	0.370%	0.700%
Story4	15.50	9.712	0.000835	0.003757	0.376%	0.700%
Story3	12.00	6.790	0.000789	0.003549	0.355%	0.700%
Story2	8.50	4.029	0.000665	0.002995	0.299%	0.700%
Story1	5.00	1.700	0.000340	0.001530	0.153%	0.700%

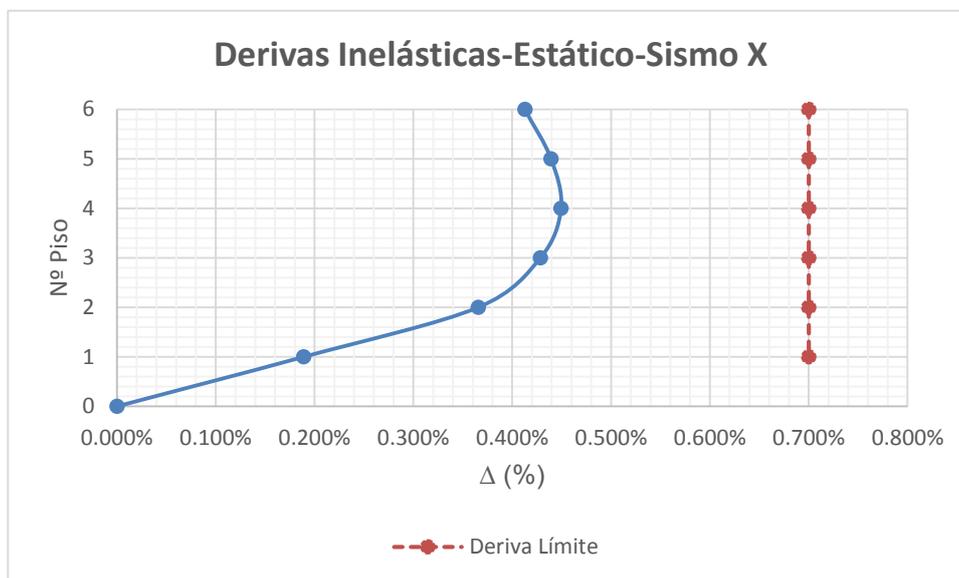


Figura E. Derivas Inelásticas del sismo estático (C5%-FCR-F)



Figura F. Derivas Inelásticas del sismo dinámico (C5%-FCR-F)



5.4. Concreto con 15% de caucho fino (C15%-FCR-F).

Figura 5G. Pesos de entrepisos (C15%-FCR-F)

Nº DE PISO	PESO (Tnf)
Techo	332.681
Story5	639.289
Story4	639.289
Story3	639.289
Story2	639.289
Story1	675.652
Total	3565.489

Figura 5H. Derivas Inelásticas del sismo estático (C15%-FCR-F)

PISO	Altura m	DEZP. mm	DERIVAS Δ elásticas	DERIVAS Δ inelástica	DERIVAS Δ inelástica (%)	DERIVA LÍMITE (%)
Techo	22.50	18.636	0.000929	0.004179	0.418%	0.700%
Story5	19.00	15.385	0.000989	0.004449	0.445%	0.700%
Story4	15.50	11.925	0.001012	0.004552	0.455%	0.700%
Story3	12.00	8.384	0.000965	0.004341	0.434%	0.700%
Story2	8.50	5.008	0.000823	0.003704	0.370%	0.700%
Story1	5.00	2.127	0.000425	0.001914	0.191%	0.700%

Figura 5I. Derivas Inelásticas del sismo dinámico (C15%-FCR-F)

PISO	Altura m	DEZP. mm	DERIVAS Δ elásticas	DERIVAS Δ inelástica	DERIVAS Δ inelástica (%)	DERIVA LÍMITE (%)
Techo	22.50	15.498	0.000784	0.003529	0.353%	0.700%
Story5	19.00	12.753	0.000832	0.003746	0.375%	0.700%
Story4	15.50	9.840	0.000846	0.003806	0.381%	0.700%
Story3	12.00	6.880	0.000799	0.003595	0.360%	0.700%
Story2	8.50	4.083	0.000674	0.003035	0.303%	0.700%
Story1	5.00	1.723	0.000345	0.001551	0.155%	0.700%



Figura G. Derivas Inelásticas del sismo estático (C15%-FCR-F)



Figura H. Derivas Inelásticas del sismo dinámico. (C15%-FCR-F)



5.5. Concreto con 5% de caucho grueso (C5%-FCR-G).

Figura 5J. Pesos de entrepisos (C5%-FCR-G)

Nº DE PISO	PESO (Tnf)
Techo	339.214
Story5	647.825
Story4	647.825
Story3	647.825
Story2	647.825
Story1	685.047
Total	3615.562

Figura 5K. Derivas Inelásticas del sismo estático (C5%-FCR-G)

PISO	Altura m	DEZP. mm	DERIVAS Δ elásticas	DERIVAS Δ inelástica	DERIVAS Δ inelástica (%)	DERIVA LÍMITE (%)
Techo	22.50	17.580	0.000876	0.003944	0.394%	0.700%
Story5	19.00	14.513	0.000933	0.004198	0.420%	0.700%
Story4	15.50	11.248	0.000954	0.004295	0.429%	0.700%
Story3	12.00	7.907	0.000910	0.004095	0.409%	0.700%
Story2	8.50	4.723	0.000776	0.003493	0.349%	0.700%
Story1	5.00	2.006	0.000401	0.001805	0.181%	0.700%

Figura 5L. Derivas Inelásticas del sismo dinámico (C5%-FCR-G)

PISO	Altura m	DEZP. mm	DERIVAS Δ elásticas	DERIVAS Δ inelástica	DERIVAS Δ inelástica (%)	DERIVA LÍMITE (%)
Techo	22.50	14.619	0.000740	0.003330	0.333%	0.700%
Story5	19.00	12.029	0.000785	0.003534	0.353%	0.700%
Story4	15.50	9.280	0.000798	0.003590	0.359%	0.700%
Story3	12.00	6.488	0.000754	0.003391	0.339%	0.700%
Story2	8.50	3.850	0.000636	0.002861	0.286%	0.700%
Story1	5.00	1.625	0.000325	0.001462	0.146%	0.700%

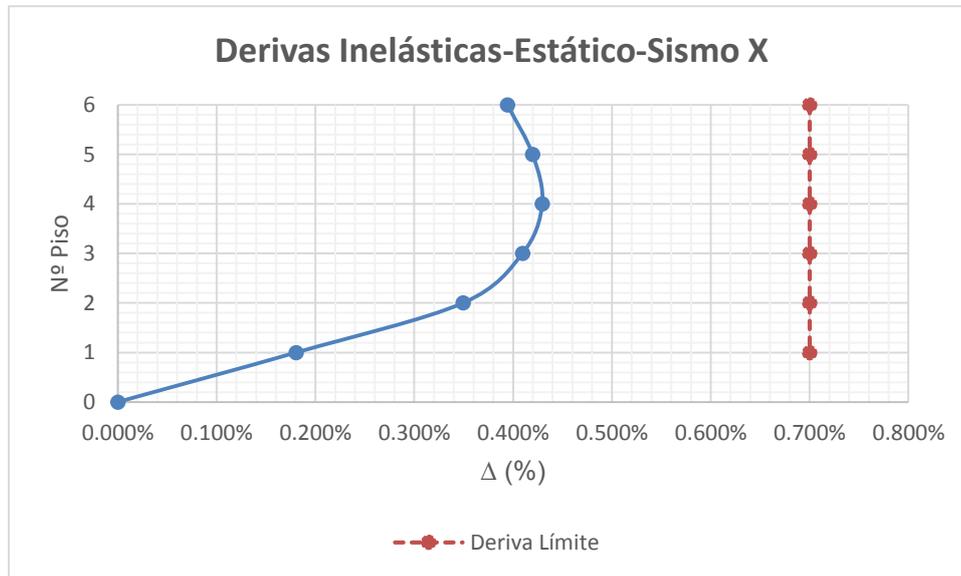


Figura I. Derivas Inelásticas del sismo estático (C5%-FCR-G)



Figura J. Derivas Inelásticas del sismo dinámico (C5%-FCR-G)



5.6 Concreto con 15% de caucho grueso (C15%-FCR-G).

Figura 5M. Pesos de entrepisos (C15%-FCR-G)

Nº DE PISO	PESO (Tnf)
Techo	331.230
Story5	637.392
Story4	637.392
Story3	637.392
Story2	637.392
Story1	673.565
Total	3554.362

Figura 5N. Derivas Inelásticas del sismo estático (C15%-FCR-G)

PISO	Altura m	DEZP. mm	DERIVAS Δ elásticas	DERIVAS Δ inelástica	DERIVAS Δ inelástica (%)	DERIVA LÍMITE (%)
Techo	22.50	20.206	0.001007	0.004531	0.453%	0.700%
Story5	19.00	16.682	0.001072	0.004824	0.482%	0.700%
Story4	15.50	12.930	0.001097	0.004936	0.494%	0.700%
Story3	12.00	9.091	0.001046	0.004707	0.471%	0.700%
Story2	8.50	5.430	0.000892	0.004016	0.402%	0.700%
Story1	5.00	2.306	0.000461	0.002076	0.208%	0.700%

Figura 5O. Derivas Inelásticas del sismo dinámico (C15%-FCR-G)

PISO	Altura m	DEZP. mm	DERIVAS Δ elásticas	DERIVAS Δ inelástica	DERIVAS Δ inelástica (%)	DERIVA LÍMITE (%)
Techo	22.50	16.804	0.000850	0.003826	0.383%	0.700%
Story5	19.00	13.828	0.000903	0.004062	0.406%	0.700%
Story4	15.50	10.669	0.000917	0.004127	0.413%	0.700%
Story3	12.00	7.460	0.000866	0.003898	0.390%	0.700%
Story2	8.50	4.428	0.000731	0.003291	0.329%	0.700%
Story1	5.00	1.868	0.000374	0.001682	0.168%	0.700%

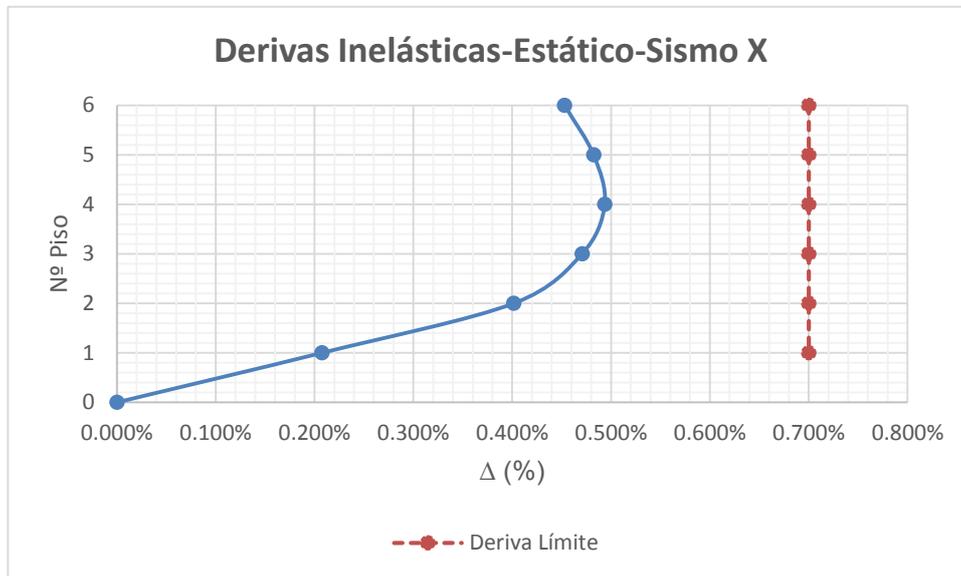


Figura K. Derivas Inelásticas del sismo estático (C15%-FCR-G)

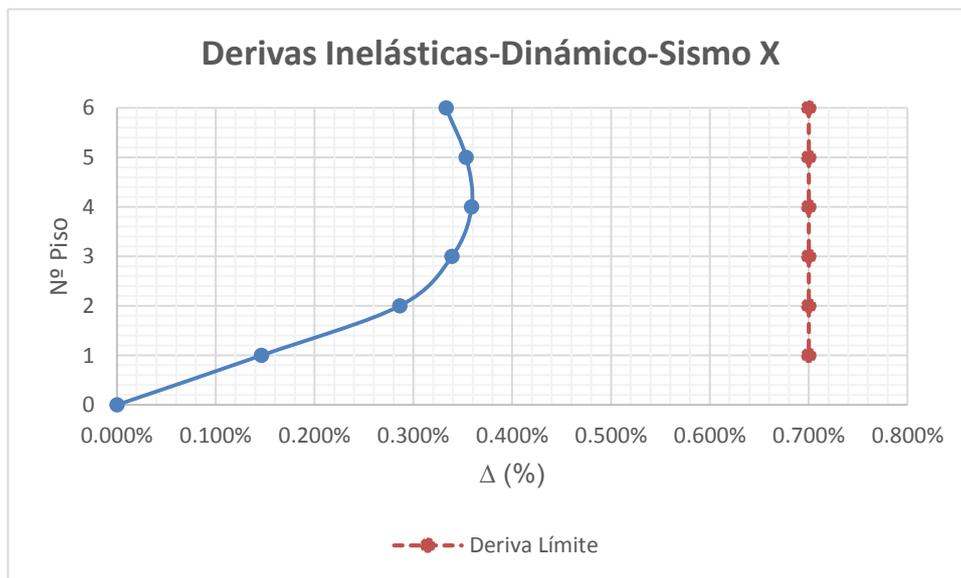


Figura L. Derivas Inelásticas del sismo dinámico (C15%-FCR-G)



ANEXO Nº 06: PANEL FOTOGRÁFICO



Foto1: Realizando la práctica estándar de reducción de muestras para el agregado grueso.

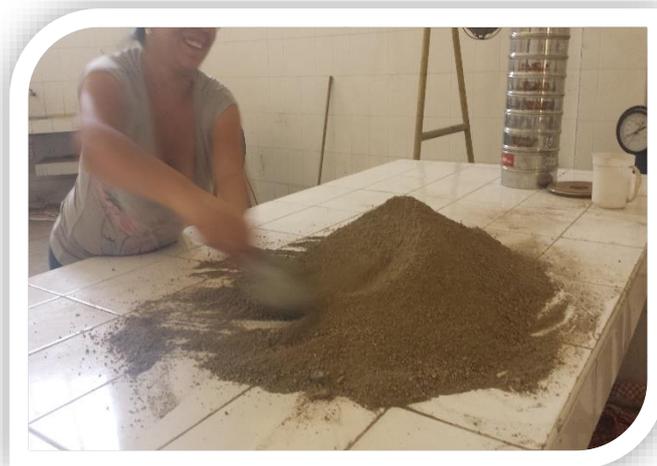


Foto2: Realizando la práctica estándar de reducción de muestras para el agregado fino.

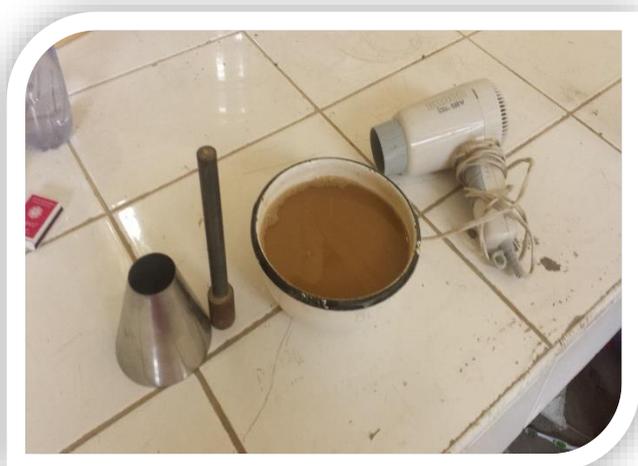


Foto3: Preparando los materiales para realizar el ensayo para determinar la densidad relativa del agregado fino.



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"



Foto4: Tamizador mecánico para determinar la granulometría del agregado grueso y del agregado fino, también para determinar la granulometría de las fibras de caucho reciclado.



Foto5: Siguiendo el procedimiento del manual (NTP 400.022) para determinar la densidad relativa del agregado fino.

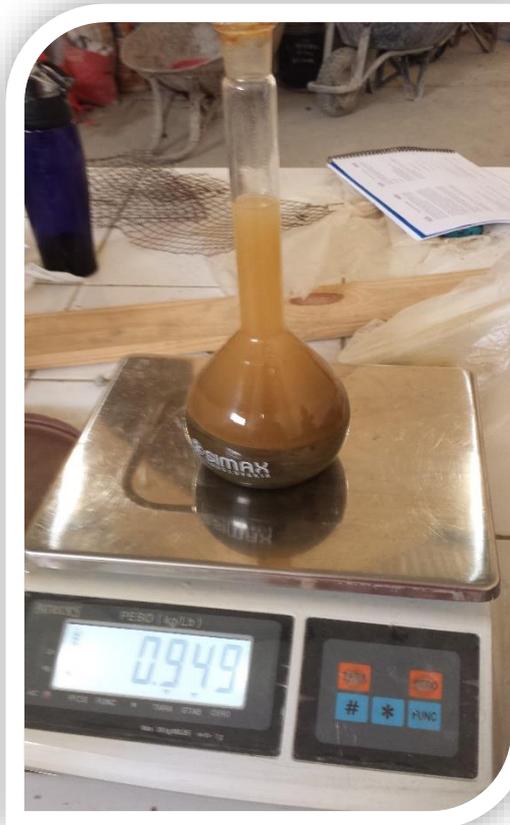


Foto6: Pesando la fiola+agua+arena, para determinar los datos necesarios para hallar la densidad relativa del agregado fino.

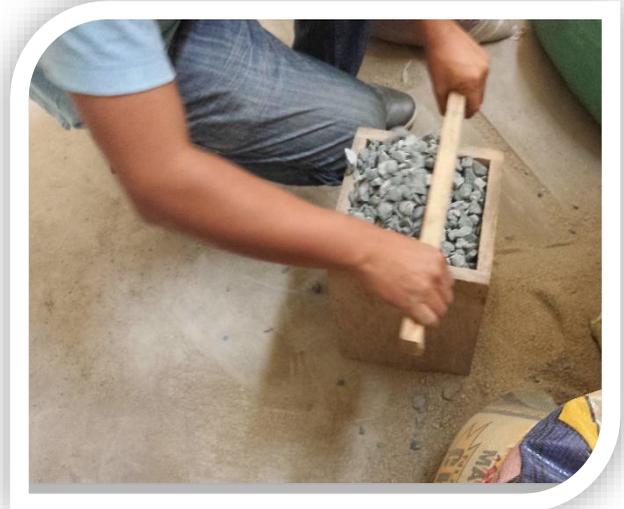
Foto7: Determinando el peso de los agregados siguiendo el método estándar para contenido de humedad total del agregado por secado.





Foto8: Realizando el ensayo para determinar el peso unitario del agregado fino en estado suelto y compactado.

Foto9: Realizando el ensayo para determinar el peso unitario del agregado grueso en estado suelto y compactado.





TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"



Foto10: Se muestra en la fotografía las fibras de caucho de reciclado fino.

Foto11: Se muestra en la fotografía las fibras de caucho reciclado grueso.



Foto12: Se muestra en la fotografía la probeta de 50 ml para el ensayo de densidad de los granos de caucho.



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"



Foto13: Realizando el ensayo para determinar la densidad relativa del agregado grueso según la NTP 400.021.

Foto14: Preparando el agregado grueso para realizar la prueba normal para resistencia al desgaste por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles.



Foto15: Concretera eléctrica para realizar el mezclado de los áridos, agua y cemento.



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"

Foto16: Alistando los materiales necesarios para recibir el concreto para su posterior vaciado en las probetas.



Foto17: Realizando la prueba del asentamiento con el cono de Abrams.



TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"



Foto18: Curado de las probetas en una piscina de agua con 2gr/lit de cal.

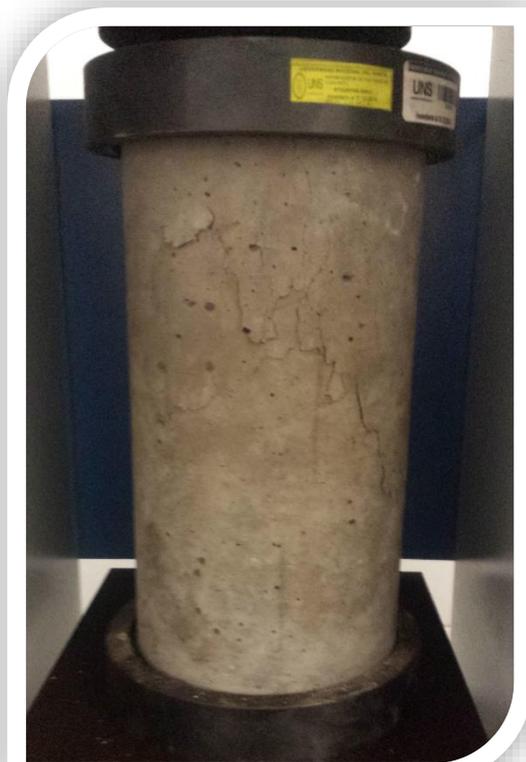


Foto19: Realizando el ensayo de las probetas cilíndricas de 10x20 cm para determinar la densidad seca, absorción y porosidad del concreto.



Foto20: Realizando el ensayo de la resistencia a la compresión a la probeta de concreto con fibras de caucho reciclado grueso en el laboratorio de la Universidad Nacional del Santa.

Foto21: Realizando el ensayo de la resistencia a la compresión a la probeta de concreto con fibras de caucho fino en el Laboratorio de la Universidad Nacional del Santa.





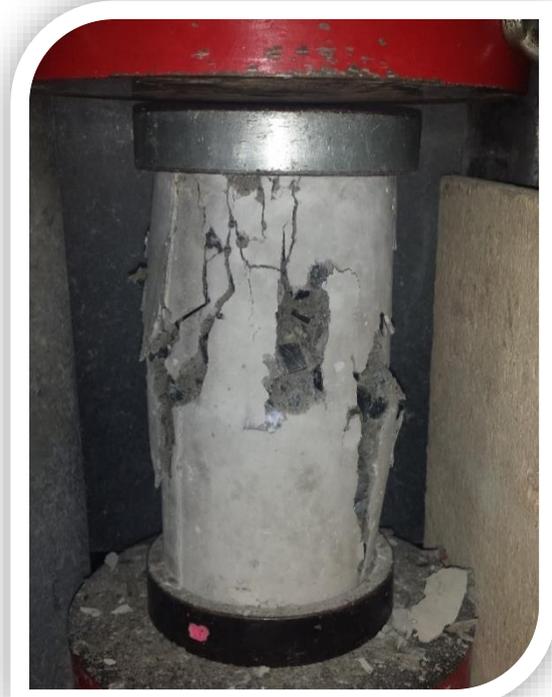
a



b



c



d

Foto22: a) Máquina para el ensayo del módulo de elasticidad estático
b) Colocando los anillos diametrales y extensómetros c) Colocación de la probeta
en la máquina d) Ensayo realizado en el laboratorio de ingeniería civil de la UNI.

a



b



c

Foto23: a) Realizando el ensayo a tracción indirecta diametral del concreto con FCR-F y concreto con FCR-G. b) Muestra patrón fraccionada después del ensayo c) Muestra de concreto con FCR-F fraccionada después del ensayo.

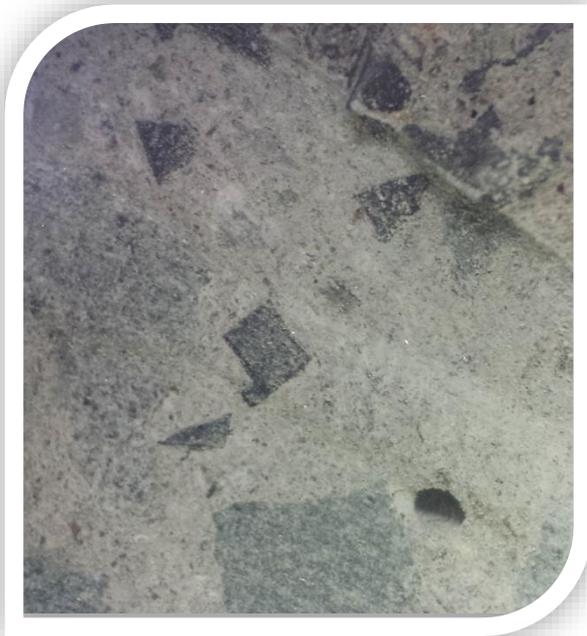


Foto24: Fotografía del concreto con fibras de caucho reciclado fino, visto desde el estereoscopio.

Foto25: Fotografía del concreto con fibras de caucho reciclado grueso, visto desde el estereoscopio.





a



b



c



d

Foto26: Realizando el ensayo de comportamiento al fuego del concreto con FCR-F y FCR—G. a) Colocación de las muestras en el horno b) Probeta de C5%-FCR-G después del ensayo de T°. c) Probeta con FCR-F después del ensayo a compresión d) Probetas de C15%-FCR-G después del ensayo de T°.



**TESIS: "SUSTITUCIÓN DE LOS ÁRIDOS POR FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL
EN CHIMBOTE-2015"**
