



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN ESTRUCTURADO DE
MANERA INDEPENDIENTE PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU
INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL
CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.

AUTOR: SÁNCHEZ GARCÍA JORGE LUIS

TUTOR: M.Sc. ING. SANTIAGO MEDINA

Ambato - Ecuador

2013

PÁGINA DE APROBACIÓN POR EL TUTOR

Certifico que la presente tesis de grado realizada por Jorge Luis Sánchez García, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi dirección, es un trabajo estructurado de manera independiente, personal e inédito y ha sido concluido bajo el título "LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA".

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Octubre del 2013.

Ing. M.Sc. Santiago Medina

TUTOR DE TESIS

PÁGINA DE AUTORÍA DE LA TESIS

Yo, Jorge Luis Sánchez García, con C.I. 180381640-2, tengo a bien indicar que los criterios emitidos en el trabajo de graduación “LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA” como también los contenidos presentados, las ideas, análisis, síntesis son de exclusiva responsabilidad de mi persona en calidad de autor de este trabajo investigativo.

Ambato, Octubre del 2013.

Jorge Luis Sánchez García

AUTOR

APROBACIÓN PROFESORES CALIFICADORES

Los suscritos Profesores Calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de Investigación, sobre el tema: “LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”, del egresado Jorge Luis Sánchez García, de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Octubre del 2013

Para constancia firman.

Ing. M.Sc. Patricio Vasco
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. M.Sc. Víctor Hugo Paredes
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis Padres

Jorge Sánchez y Eugenia García, son personas admirables que me enseñaron a nunca derrumbarme y a luchar por mis objetivos, su apoyo y sus palabras de aliento se ve reflejado en lo que ahora soy, sé que este trabajo es muy pequeño en comparación por todo lo que ustedes han hecho por mí, son los mejores padres y mi gran ejemplo a seguir los amo.

Jorge Luis

AGRADECIMIENTO

A mi Novia

María Fernanda gracias por tu amor, y por estar ahí en los buenos y malos momentos, tu apoyo moral y sobre todo por tu colaboración en los momentos que más los necesitaba fueron primordiales para finalizar esta investigación, una vez más gracias te amo.

A mi Hermana

Cristina por brindarme siempre una muestra de afecto y cariño, y demostrarme que con perseverancia se alcanza todo lo que se desea, eres un gran ejemplo a seguir.

A mi Tutor

Ingeniero Santiago Medina por haberme ayudado, asesorado y colaborado en la ejecución de esta tesis.

Jorge Luis

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A) PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	I
PÁGINA DE APROBACIÓN POR EL TUTOR	II
PÁGINA DE AUTORÍA DE LA TESIS	III
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XII
RESUMEN EJECUTIVO	XIII

B) TEXTO. INTRODUCCIÓN

XIV

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1	TEMA:.....	1
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1	Contextualización	1
1.2.2	Análisis Crítico	4
1.2.3	La Prognosis	5
1.2.4	Formulación del Problema.....	5
1.2.5	Preguntas Directrices	5
1.2.6	Delimitación del Problema	6

1.2.6.1	De Contenido	6
1.2.6.2	Espacial.....	6
1.2.6.3	Temporal.....	6
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	6
1.4	OBJETIVOS.....	7
1.4.1	Objetivo General:.....	7
1.4.2	Objetivos Específicos:	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	8
2.2	FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.	9
2.3	FUNDAMENTACIÓN LEGAL	9
2.3.1	Agregado grueso y fino.....	9
2.3.2	Mezcla y Curado de Hormigón.....	11
2.3.3	Módulo de Elasticidad Estático del Hormigón	11
2.3.4	Toma de muestras de Hormigón.....	11
2.4	CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....	12
2.4.1	Supraordinación de las variables	12
2.4.2	Definiciones	13
2.4	HIPÓTESIS	38
2.5	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES	38
2.5.1	Variable Independiente	38
2.5.2	Variable Dependiente	38

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	ENFOQUE	39
3.2	MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN	39
3.3	NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	40
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA	40
3.5	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	41
3.5.1	Variable Independiente	41
3.5.2	Variable dependiente	42
3.6	PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	43
3.6.1	Técnicas e instrumentos.....	44
3.7	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	44
3.7.1	Plan de Procesamiento de la Información.....	44
3.7.2	Plan de Análisis e interpretación de resultados	44

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	45
4.1.1	Ensayos Realizados.....	45
4.1.1.1	Agregado Grueso	45
4.1.1.2	Agregado fino	45
4.2	INTERPRETACIÓN DE DATOS	67
4.2.1	Interpretación de Datos de los Ensayos Realizados en los Agregados	67
4.2.2	Interpretación de Datos de los Ensayos Realizados en el Cemento ...	68
4.3	VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	68

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES.....	69
5.2	RECOMENDACIONES	70

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1	DATOS INFORMATIVOS	71
6.1.1	Cantera Playa Llagchoa	71
6.2	ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA	72
6.3	JUSTIFICACIÓN.....	73
6.4	OBJETIVOS.....	74
6.4.1	Objetivo General.....	74
6.4.2	Objetivos Específicos	74
6.5	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	75
6.6	FUNDAMENTACIÓN	75
6.6.1	Dosificación de Hormigones según el método de la Universidad Central del Ecuador	75
6.6.2	Trabajabilidad	78
6.6.3	Homogeneidad	79
6.6.4	Consistencia del hormigón.....	79
6.6.5	Elaboración y Curado de probetas	80
6.6.6	Densidad del Hormigón fresco	82
6.6.7	Densidad del Hormigón endurecido	83
6.6.8	Resistencia a la Compresión del hormigón.....	83
6.6.9	Módulo de Elasticidad Estático Experimental del Hormigón	84

6.6.10	Determinación del Módulo de Elasticidad Estático del hormigón según el Comité <i>ACI 318S-05</i>	90
6.6.11	Determinación del Módulo de Elasticidad Estático del hormigón según el Comité <i>ACI 363R-92</i>	90
6.7	METODOLOGÍA	91
6.7.1	Dosificación de Hormigón para Agregados de la Cantera Playa Llagchoa.....	91
6.7.2	Determinación de las propiedades del hormigón fresco.....	94
6.7.2.1	Trabajabilidad, homogeneidad y consistencia del hormigón fresco de 210, 240 y 280 kg/cm ²	94
6.7.2.2	Propiedades del hormigón fresco: f'c 210kg/cm ² : Densidad	95
6.7.2.3	Propiedades del hormigón fresco: f'c 240kg/cm ² : Densidad	96
6.7.2.4	Propiedades del hormigón fresco: f'c 280kg/cm ² : Densidad	97
6.7.3	Propiedades del hormigón endurecido.....	98
6.7.3.1	Densidad del hormigón endurecido de 210 kg/cm ²	98
6.7.3.2	Densidad del hormigón endurecido de 240 kg/cm ²	100
6.7.3.3	Densidad del hormigón endurecido de 280 kg/cm ²	102
6.7.4	Resistencia a la Compresión.....	104
6.7.4.1	Resistencia a la Compresión del hormigón de 210 kg/cm ²	104
6.7.4.2	Resistencia a la Compresión del hormigón de 240 kg/cm ²	105
6.7.4.3	Resistencia a la Compresión del hormigón de 280 kg/cm ²	106
6.7.5	Resistencia a compresión del hormigón en función del tiempo para 210, 240 y 280 kg/cm ²	107
6.7.6	Módulo de Elasticidad Estático Experimental.....	108

6.7.6.1	Módulo de Elasticidad Estático para un hormigón de 210 kg/cm ²	108
6.7.6.2	Módulo de Elasticidad Estático para un hormigón de 240 kg/cm ²	135
6.7.6.3	Módulo de Elasticidad Estático para un hormigón de 280 kg/cm ²	162
6.7.7	Módulo de Elasticidad Estático Teórico.....	189
6.7.7.1	Módulo de Elasticidad Estático Teórico para un hormigón de 210 kg/cm ²	189
6.7.7.2	Módulo de Elasticidad Estático Teórico para un hormigón de 240 kg/cm ²	190
6.7.7.3	Módulo de Elasticidad Estático Teórico para un hormigón de 280 kg/cm ²	191
6.7.8	Comparación del Módulo de Elasticidad Estático Experimental y Teórico.....	192
6.7.8.1	Comparación del Módulo de Elasticidad Estático Experimental y Teórico para un hormigón de 210, 240 y 280 kg/cm ²	192
6.7.9	Curva de relación entre el Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión del hormigón.....	193
6.7.9.1	Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 7 días	193
6.7.9.2	Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 14 días	194
6.7.9.3	Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 21 días	195

6.7.9.4	Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 28 días	196
6.7.9.5	Curva Módulo de Elasticidad Estático Teórico por la Norma ACI - 318 y Módulo de Elasticidad Estático Experimental por la Norma ASTM 469 para un hormigón de edad de 28 días.....	197
6.7.10	Conclusiones.....	198
6.7.11	Recomendaciones	199
6.8	ADMINISTRACIÓN	200
6.9	PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN	200
C.	MATERIALES DE REFERENCIA	201
1.	BIBLIOGRAFÍA	201
2.	ANEXOS	2033
2.1	IMÁGENES DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN...	2033
2.2	NORMAS EMPLEADAS	2077

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tamaño de Tamices ASTM C33	19
Tabla 2: Operacionalización de la Variable Independiente	41
Tabla 3: Operacionalización de la Variable dependiente.....	42
Tabla 4: Plan de Recolección de la Información	43
Tabla 5: Técnica e Instrumentos	44
Tabla 6: Granulometría Agregado Grueso (Cantera Villacrés)	46
Tabla 7: Granulometría Agregado Fino (Cantera Villacrés).....	47
Tabla 8: Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso y Fino (Cantera Villacrés)	48
Tabla 9: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso y Fino (Cantera Villacrés)	48
Tabla 10: Peso Unitario Compactado de la Mezcla (Cantera Villacrés)	49
Tabla 11: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso (Cantera Villacrés)	50
Tabla 12: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino (Cantera Villacrés).....	51
Tabla 13: Resistencia al Desgaste – Prueba de los Ángeles Agregado Grueso (Cantera Villacrés)	52
Tabla 14: Granulometría Agregado Grueso (Planta de trituración de áridos Constructora Arias).....	53
Tabla 15: Granulometría Agregado Fino (Planta de trituración de áridos Constructora Arias).....	54
Tabla 16: Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso y Agregado Fino (Planta de trituración de áridos Constructora Arias).....	55
Tabla 17: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso y Agregado Fino ...	55
Tabla 18: Peso Unitario Compactado de la Mezcla (Planta de trituración de áridos Constructora Arias).....	56

Tabla 19: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso (Planta de trituración de áridos Constructora Arias).....	57
Tabla 20: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino (Planta de trituración de áridos Constructora Arias)	58
Tabla 21: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino (Planta de trituración de áridos Constructora Arias).....	59
Tabla 22: Granulometría Agregado Grueso (Cantera Playa Llagchoa)	60
Tabla 23: Granulometría Agregado Fino (Cantera Playa Llagchoa)	61
Tabla 24: Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso y Fino (Cantera Playa Llagchoa).....	62
Tabla 25: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso y Agregado Fino (Cantera Playa Llagchoa).....	62
Tabla 26: Peso Unitario Compactado de la Mezcla (Cantera Playa Llagchoa) ...	63
Tabla 27: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso (Cantera Playa Llagchoa).....	64
Tabla 28: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino (Cantera Playa Llagchoa).....	65
Tabla 29: Resistencia al Desgaste – Prueba de los Ángeles Agregado Grueso (Cantera Playa Llagchoa).....	66
Tabla 30: Densidad Real del Cemento.....	66
Tabla 31: Resultados de las Diferentes Canteras	67
Tabla 32: Valor de constante (k) según el asentamiento requerido para dosificación método de la Universidad Central del Ecuador	76
Tabla 33: Relación Agua / Cemento para dosificación método de la Universidad Central del Ecuador.....	77
Tabla 34: Dosificación al Peso mediante el método de la Universidad Central del Ecuador	78
Tabla 35: Requisitos para el diámetro de la varilla de compactación.....	81
Tabla 36: Compresión de Cilindros	84
Tabla 37: Módulo tangente, tangente inicial y secante del hormigón	85
Tabla 38: Dosificación para un hormigón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	91
Tabla 39: Dosificación para un hormigón de $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$	92

Tabla 40: Dosificación para un hormigón de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	93
Tabla 41: Trabajabilidad, homogeneidad y consistencia del hormigón fresco de 210, 240 y 280 kg/cm^2	94
Tabla 42: Densidad del hormigón fresco de 210 kg/cm^2	95
Tabla 43: Densidad del hormigón fresco de 240 kg/cm^2	96
Tabla 44: Densidad del hormigón fresco de 280 kg/cm^2	97
Tabla 45: Densidad del hormigón endurecido de 210 kg/cm^2 edad 7 días	98
Tabla 46: Densidad del hormigón endurecido de 210 kg/cm^2 edad 14 días	98
Tabla 47: Densidad del hormigón endurecido de 210 kg/cm^2 edad 21 días	99
Tabla 48: Densidad del hormigón endurecido de 210 kg/cm^2 edad 28 días	99
Tabla 49: Densidad del hormigón endurecido de 240 kg/cm^2 edad 7 días	100
Tabla 50: Densidad del hormigón endurecido de 240 kg/cm^2 edad 14 días	100
Tabla 51: Densidad del hormigón endurecido de 240 kg/cm^2 edad 21 días	101
Tabla 52: Densidad del hormigón endurecido de 240 kg/cm^2 edad 28 días	101
Tabla 53: Densidad del hormigón endurecido de 280 kg/cm^2 edad 7 días	102
Tabla 54: Densidad del hormigón endurecido de 280 kg/cm^2 edad 14 días	102
Tabla 55: Densidad del hormigón endurecido de 280 kg/cm^2 edad 21 días	103
Tabla 56: Densidad del hormigón endurecido de 280 kg/cm^2 edad 28 días	103
Tabla 57: Resistencia a la Compresión del hormigón de 210 kg/cm^2	104
Tabla 58: Resistencia a la Compresión del hormigón de 240 kg/cm^2	105
Tabla 59: Resistencia a la Compresión del hormigón de 280 kg/cm^2	106
Tabla 60: Esfuerzo vs. Tiempo	107
Tabla 61: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 24 $f'c= 21 \text{ MPa}$ de 7 días	108
Tabla 62: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 17 $f'c= 21 \text{ MPa}$ de 7 días	110
Tabla 63: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 18 $f'c= 21 \text{ MPa}$ de 7 días	112
Tabla 64: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 16 $f'c= 21 \text{ MPa}$ de 14 días	114
Tabla 65: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 19 $f'c= 21 \text{ MPa}$ de 14 días	116
Tabla 66: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 20 $f'c= 21 \text{ MPa}$ de 14 días	118
Tabla 67: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 1 $f'c= 21 \text{ MPa}$ de 21 días	120
Tabla 68: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 2 $f'c= 21 \text{ MPa}$ de 21 días	122
Tabla 69: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 6 $f'c= 21 \text{ MPa}$ de 21 días	124
Tabla 70: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 8 $f'c= 21 \text{ MPa}$ de 28 días	126

Tabla 71: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 11 $f'c= 21$ MPa de 28 días	129
Tabla 72: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 12 $f'c= 21$ MPa de 28 días	132
Tabla 73: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 22 $f'c= 24$ MPa de 7 días	135
Tabla 74: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 23 $f'c= 24$ MPa de 7 días	137
Tabla 75: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 24 $f'c= 24$ MPa de 7 días	139
Tabla 76: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 1 $f'c= 24$ MPa de 14 días	141
Tabla 77: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 3 $f'c= 24$ MPa de 14 días	143
Tabla 78: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 7 $f'c= 24$ MPa de 14 días	145
Tabla 79: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 12 $f'c= 24$ MPa de 21 días	147
Tabla 80: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 13 $f'c= 24$ MPa de 21 días	149
Tabla 81: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 14 $f'c= 24$ MPa de 21 días	151
Tabla 82: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 9 $f'c= 24$ MPa de 28 días	153
Tabla 83: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 17 $f'c= 24$ MPa de 28 días	156
Tabla 84: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 20 $f'c= 24$ MPa de 28 días	159
Tabla 85: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 3 $f'c= 28$ MPa de 7 días	162
Tabla 86: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 4 $f'c= 28$ MPa de 7 días	164
Tabla 87: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 22 $f'c= 28$ MPa de 7 días	166
Tabla 88: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 13 $f'c= 28$ MPa de 14 días	168
Tabla 89: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 20 $f'c= 28$ MPa de 14 días	170
Tabla 90: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 23 $f'c= 28$ MPa de 14 días	172
Tabla 91: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 9 $f'c= 28$ MPa de 21 días	174
Tabla 92: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 14 $f'c= 28$ MPa de 21 días	176
Tabla 93: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 24 $f'c= 28$ MPa de 21 días	178
Tabla 94: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 8 $f'c= 28$ MPa de 28 días	180
Tabla 95: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 15 $f'c= 28$ MPa de 28 días	183
Tabla 96: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 16 $f'c= 28$ MPa de 28 días	186
Tabla 97: Módulo de Elasticidad Estático Teórico para un hormigón de 210 kg/cm ²	189
Tabla 98: Módulo de Elasticidad Estático Teórico para un hormigón de 240 kg/cm ²	190
Tabla 99: Módulo de Elasticidad Estático Teórico para un hormigón de 280 kg/cm ²	191

Tabla 100: Comparación del Módulo de Elasticidad Estático Experimental y Teórico para un hormigón de 210 kg/cm ²	192
Tabla 101: Comparación del Módulo de Elasticidad Estático Experimental y Teórico para un hormigón de 240 kg/cm ²	192
Tabla 102: Comparación del Módulo de Elasticidad Estático Experimental y Teórico para un hormigón de 280 kg/cm ²	192
Tabla 103: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 7 días	193
Tabla 104: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 14 días	194
Tabla 105: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 21 días	195
Tabla 106: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 28 días	196
Tabla 107: Curva Módulo de Elasticidad Estático Teórico por la Norma ACI - 318 y Módulo de Elasticidad Estático Experimental por la Norma ASTM 469 para un hormigón de edad de 28 días.....	197

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Supraordinación de la Variable Independiente	12
Gráfico 2: Supraordinación de la Variable Dependiente	12
Gráfico 3: Calidad de hormigón mediante Cilindros.....	25
Gráfico 4: Prensa de compresión de cilindros	27
Gráfico 5: Diagrama indicativo de la resistencia en (%)	29
Gráfico 6: Curva Típica del Esfuerzo - Deformación del Hormigón.....	30
Gráfico 7: Deformaciones por Contracción del Hormigón.....	34
Gráfico 8: Ubicación Cantera Playa Llagchoa (A)	71
Gráfico 9: Determinación del Asentamiento.....	80
Gráfico 10: Toma de muestras	81
Gráfico 11: Cámara de Curado	82
Gráfico 12: Diagrama de desplazamiento	87
Gráfico 13: Módulo secante del hormigón según la ASTM	89
Gráfico 14: Esfuerzo vs. Tiempo	107
Gráfico 15: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 24 $f'c= 21$ MPa de 7 días.....	109
Gráfico 16: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 17 $f'c= 21$ MPa de 7 días.....	111
Gráfico 17: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 18 $f'c= 21$ MPa de 7 días.....	113
Gráfico 18: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 16 $f'c= 21$ MPa de 14 días....	115
Gráfico 19: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 19 $f'c= 21$ MPa de 14 días....	117
Gráfico 20: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 20 $f'c= 21$ MPa de 14 días....	119
Gráfico 21: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 1 $f'c= 21$ MPa de 21 días.....	121
Gráfico 22: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 2 $f'c= 21$ MPa de 21 días.....	123
Gráfico 23: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 6 $f'c= 21$ MPa de 21 días.....	125
Gráfico 24: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 8 $f'c= 21$ MPa de 28 días.....	128
Gráfico 25: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 11 $f'c= 21$ MPa de 28 días....	131
Gráfico 26: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 12 $f'c= 21$ MPa de 28 días....	134
Gráfico 27: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 22 $f'c= 24$ MPa de 7 días.....	136
Gráfico 28: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 23 $f'c= 24$ MPa de 7 días.....	138
Gráfico 29: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 24 $f'c= 24$ MPa de 7 días.....	140
Gráfico 30: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 1 $f'c= 24$ MPa de 14 días.....	142

Gráfico 31: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 3 $f'c= 24$ MPa de 14 días.....	144
Gráfico 32: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 7 $f'c= 24$ MPa de 14 días.....	146
Gráfico 33: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 12 $f'c= 24$ MPa de 21 días....	148
Gráfico 34: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 13 $f'c= 24$ MPa de 21 días....	150
Gráfico 35: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 14 $f'c= 24$ MPa de 21 días....	152
Gráfico 36: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 9 $f'c= 24$ MPa de 28 días.....	155
Gráfico 37: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 17 $f'c= 24$ MPa de 28 días....	158
Gráfico 38: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 20 $f'c= 24$ MPa de 28 días....	161
Gráfico 39: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 3 $f'c= 28$ MPa de 7 días.....	163
Gráfico 40: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 4 $f'c= 28$ MPa de 7 días.....	165
Gráfico 41: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 22 $f'c= 28$ MPa de 7 días.....	167
Gráfico 42: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 13 $f'c= 28$ MPa de 14 días....	169
Gráfico 43: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 20 $f'c= 28$ MPa de 14 días....	171
Gráfico 44: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 23 $f'c= 28$ MPa de 14 días....	173
Gráfico 45: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 9 $f'c= 28$ MPa de 21 días.....	175
Gráfico 46: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 14 $f'c= 28$ MPa de 21 días....	177
Gráfico 47: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 24 $f'c= 28$ MPa de 21 días....	179
Gráfico 48: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 8 $f'c= 28$ MPa de 28 días.....	182
Gráfico 49: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 15 $f'c= 28$ MPa de 28 días.....	185
Gráfico 50: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 16 $f'c= 28$ MPa de 28 días....	188
Gráfico 51: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 7 días	193
Gráfico 52: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 14 días	194
Gráfico 53: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 21 días	195
Gráfico 54: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 28 días	196
Gráfico 55: Curva Módulo de Elasticidad Estático Teórico por la Norma ACI - 318 y Módulo de Elasticidad Estático Experimental por la Norma ASTM 469 para un hormigón de edad de 28 días.....	197

RESUMEN EJECUTIVO

Tema: “LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”

Se determinó el módulo de elasticidad estático del hormigón, utilizando los agregados de la Cantera “PLAYA LLAGCHOA”, ubicada en la vía a Aguaján kilómetro 7, en el Cantón Ambato, Provincial de Tungurahua y cemento Tipo IP.

Se ejecutó las dosificaciones para hormigones de resistencia de 210, 240 y 280kg/cm², con un asentamiento de (6-9), dado que son los más utilizados en la construcción de elementos estructurales.

Al realizar la mezcla se estableció las propiedades del hormigón fresco más importantes, como la trabajabilidad, homogeneidad, consistencia y densidad, para después proceder a tomar las muestras y darles el curado respectivo.

A las edades de 7, 14, 21, y 28 se realizaron los ensayos a compresión de las muestras para determinar las curvas tiempo vs resistencia para observar la influencia del tiempo en la resistencia del hormigón, además que nos dio un indicativo de la resistencia media del hormigón para cada edad.

Según lo especificado en la norma ASTM C-469-94, determinamos el módulo de elasticidad estático experimental del hormigón para cada probeta, para después proceder a calcular el módulo de elasticidad teórico con los valores de las ecuaciones propuestas por el A.C.I. 318 y A.C.I. 363, y así realizar una comparación con los datos obtenidos.

B) TEXTO. INTRODUCCIÓN

El hormigón es una piedra artificial formada al mezclar apropiadamente cuatro componentes básicos: cemento, arena, grava y agua.

Las propiedades del hormigón dependen en gran medida de la calidad y proporciones de los componentes en la mezcla, de las condiciones de humedad y temperatura durante los procesos de fabricación y de fraguado.

El hormigón ha alcanzado importancia como material estructural debido a que puede adaptarse fácilmente a una gran variedad de moldes, adquiriendo formas arbitrarias, de dimensiones variables, gracias a su consistencia plástica en estado fresco.

Una de las propiedades primordiales del hormigón es el módulo de elasticidad estático, es un parámetro muy importante en el análisis de las estructuras ya que se emplean en el cálculo de la rigidez de los elementos estructurales.

Cualquiera que sea la expresión que se use para determinarla, no se debe perder de vista que el valor que se obtenga es útil solamente a nivel de anteproyecto, para el proyecto final de una obra se debe emplear el módulo de elasticidad del concreto que realmente estará en la construcción, esto sólo es posible si el calculista tiene el cuidado de recabar la información del productor local del concreto, o en su defecto se deben cotizar las pruebas respectivas con cargo al trabajo de análisis y diseño. Es muy peligroso para la seguridad de la estructura emplear indiscriminadamente fórmulas cuando se desconocen las características elásticas del concreto que se puede fabricar en la zona donde se construirá el proyecto.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA:

“La resistencia a la compresión del Hormigón y su influencia en el Módulo de Elasticidad Estático en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua”

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Contextualización

Sólo desde la historia se pueden entender las razones que cada pueblo ha tenido para adoptar por una u otra forma de construcción, esto se hace más evidente cuando comprendemos, que son muchas las razones de tipo social y cultural las que han definido cada una de esas formas, es el material de construcción, con sus propiedades, y el desarrollo de las técnicas constructivas, los que han condicionado los sistemas constructivos y hecho posible la construcción de edificaciones con distintos materiales, siendo uno de ellos el hormigón.

El término concreto definido en el diccionario de la Real Academia como americanismo, también es originario de latín; procede de la palabra concretus. Su uso en idioma español se transmite por vía de la cultura anglosajona, como anglicismo (o calco semántico), siendo la voz inglesa original concrete.

El hormigón, también denominado concreto en algunos países, resulta de la mezcla de uno o más conglomerantes (generalmente cemento) con áridos (grava, gravilla y arena), agua y, eventualmente, aditivos y adiciones. El cemento se hidrata en contacto con el agua, iniciándose complejas reacciones químicas que

derivan en el fraguado y endurecimiento de la mezcla, obteniéndose al final del proceso un material con consistencia pétreo.

De esta manera se podrá desarrollar la historia del concreto en las diferentes etapas de la humanidad la cual está dividida por épocas y luego por años, hasta la actualidad identificando los diferentes cambios que ha generado en el campo de la construcción y como este ha mejorado el estilo de vida de las personas en el mundo. La historia del hormigón constituye un capítulo fundamental de la historia de la construcción. Cuando el hombre optó por levantar edificaciones utilizando materiales arcillosos o pétreos, surgió la necesidad de obtener pastas o morteros que permitieran unir dichos mampuestos para poder conformar estructuras estables.

Para la época de la prehistoria: se utilizaron bloques de piedra de gran tamaño y cuya estabilidad dependía de su ubicación.

“Luego en el Egipto antiguo: los egipcios utilizaron el yeso calcinado para dar al ladrillo o a las estructuras de piedra una capa lisa. Se utilizan ladrillos de barro o adobe secados al sol y colocados en forma regular pegándolos con una capa de arcilla del Nilo, con o sin paja para crear una pared sólida de barro seco. Este tipo de construcción prevalece en climas desérticos donde la lluvia es nula, además todavía se practica en muchas placas del planeta.

Después en Grecia antigua: una aplicación similar de piedra caliza calcinada fue utilizada por los griegos antiguos. Se utilizó la cal mezclada con arena para hacer mortero en la isla de Creta. Los romanos adaptaron y mejoraron esta técnica para lograr construcciones de gran durabilidad como son el Coliseo Romano y Panteón Roma así como un sin número de construcciones desperdigadas por todo el Imperio Romano.

Los griegos fueron los primeros en percatarse de las propiedades del cemento de los depósitos volcánicos al ser mezclados con cal y arena que actualmente

conocemos como puzolanas (latín: puteoli, un pueblo cercano a la bahía de Nápoles).”¹

“Antigua Roma: El coliseo romano, los romanos utilizaron con frecuencia el agregado quebrado del ladrillo embutido en una mezcla de macilla de la cal con polvo del ladrillo o la ceniza volcánica. Construyeron una variedad amplia de estructuras que incorporaron la piedra y concreto, incluyendo los caminos, los acueductos, los templos y los palacios.

Los romanos antiguos utilizaron losas de concreto en muchas de sus estructuras públicas grandes como el Coliseo y el Partenón. El concreto también fue utilizado en la pared de la defensa que abarca Roma, más muchos caminos y los acueductos que todavía existen.

Tras la caída del Imperio romano el hormigón fue poco utilizado, posiblemente debido a la falta de medios técnicos y humanos, la mala calidad de la cocción de la cal, y la carencia o lejanía de tobas volcánicas; no se encuentran muestras de su uso en grandes obras hasta el siglo XIII, en que se vuelve a utilizar en los cimientos de la Catedral de Salisbury, o en la célebre Torre de Londres, en Inglaterra. Durante el renacimiento su empleo fue escaso y muy poco significativo, por lo cual surge la necesidad de nuevas investigaciones para poder manejar con precisión el hormigón.”²

Por otro lado, el módulo de elasticidad estático o módulo de Young es una de las propiedades del hormigón que ha sido considerado como un factor importante en el diseño de estructuras de concreto a lo largo de la historia.

“Young, que entre otras cosas dedico parte de su vida al estudio de los jeroglíficos, definió su módulo (E) como la constante de proporcionalidad, entre tensiones y deformaciones, antes que existieran los conceptos de tensión y deformación, determinado como la pendiente del diagrama esfuerzo (σ) vs

¹ <http://es.wikipedia.org/wiki/Hormigon>

² <http://es.wikipedia.org/wiki/Hormigon>

deformación (ϵ) en la región elástica y su valor depende del material particular que se utilice.”³

“El módulo de elasticidad caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de Young tiene el mismo valor para una tracción que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico, y es siempre mayor que cero.

El módulo de Young como el límite elástico son distintos para los diversos materiales. El módulo de elasticidad es una constante elástica que, al igual que el límite elástico puede calcularse empíricamente en base al ensayo de tracción del material.

Para el concreto no se puede establecer un módulo de elasticidad constante y su valor dependerá de la intensidad de la carga, de las cargas de corta y larga duración, de la fatiga de ruptura del concreto y también de su peso volumétrico.

La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de puentes, edificios y otras estructuras, siendo tan importante el módulo elástico como la resistencia del hormigón, y mucho más cuando el concreto este puesto en obra”⁴

1.2.2 Análisis Crítico

En la actualidad es necesario conocer las principales propiedades del hormigón como el esfuerzo y el módulo de elasticidad estático para garantizar la calidad y resistencia del mismo, lo cual hace inevitable que los materiales como los agregados o áridos pétreos, la pasta cementante (cemento agua) cumplan con las especificaciones señaladas en las normas técnicas nacionales, teniendo así una ejecución correcta para distintas construcciones civiles.

³ Osorio Jesus, Concreto – Cementos Argo – Blog 360° en concreto (2009)

⁴ <http://es.wikipedia.org/wiki/Hormigon>

Es irrefutable que el módulo de elasticidad estático es necesario puesto que es uno de los valores más importantes en el diseño de concreto, influye en las deflexiones, derivas y rigidez de una estructura, además que el uso masivo de concreto como principal material de construcción hacen indispensable conocer todas sus propiedades mecánicas para tener unos diseños acertados de los proyectos de construcción.

1.2.3 La Prognosis

De no ejecutarse el presente proyecto no podríamos establecer las propiedades mecánicas que adquieren los hormigones fabricados con los materiales de nuestro entorno, además de la gran importancia que tiene realizar una comparación de valores del Módulo de Elasticidad Estático del hormigón propuesto por el comité ACI 318 y los resultados obtenidos a través de esta investigación.

Adicionalmente el no realizar los ensayos para la determinación del Módulo de Elasticidad Estático continuará el problema, debido a que no hay un valor exacto para esta ciudad, siendo un valor de importancia para el pre-dimensionamiento de elementos estructurales, rigideces y también para el análisis de deformaciones.

1.2.4 Formulación del Problema

¿Cómo influye la resistencia a la compresión del Hormigón en el Módulo de Elasticidad Estático en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua?

1.2.5 Preguntas Directrices

¿Se han realizados estudios sobre la influencia de la resistencia del hormigón en la determinación del Módulo de Elasticidad Elástico?

¿Cómo varía la resistencia a la compresión del hormigón según la calidad de los agregados?

¿Se puede obtener un valor de extrapolación para la determinación del Módulo de Elasticidad Estático del Hormigón con agregados de la zona de Ambato a partir de ensayos a la compresión?

¿Existe algún valor mínimo del Módulo de elasticidad Estático del Hormigón para el diseño de estructuras?

1.2.6 Delimitación del Problema

1.2.6.1 De Contenido

El problema a investigar en este proyecto está dentro del ámbito de la ingeniería civil y se requiere estudios de Mecánica de Suelos, Geotecnia y Ensayo de Materiales.

1.2.6.2 Espacial

Para el presente trabajo se utilizarán agregados de la canteras, Playa Llagchoa, Villacrés y Planta Industrial de Trituración de Áridos, que provee a la ciudad de Ambato, además para los ensayos pertinentes se los realizara en los laboratorios de Ensayo de materiales y Mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, así como investigaciones en la biblioteca de la facultad ya mencionada.

1.2.6.3 Temporal

El análisis para la investigación se lo desarrollará en el período comprendido entre Marzo 2013- Julio 2013

1.3 JUSTIFICACIÓN

El interés del presente trabajo de investigación es conocer la resistencia del hormigón a la compresión y la influencia que tiene ante el Módulo de Elasticidad Estático.

El módulo de elasticidad es un parámetro muy importante en el análisis de las estructuras de concreto ya que se emplea en el cálculo de la rigidez de los elementos estructurales, en algunos lugares como en la ciudad de México y a raíz de los terremotos de 1985, se han hecho cambios en el Reglamento de Construcciones, estos cambios demandan valores mínimos para el módulo de elasticidad dependiendo del tipo de concreto que se emplee en la obra, por lo tanto ahora, además de la resistencia a la compresión se debe garantizar el Módulo de Elasticidad Estático (E_c) que algunos calculistas tienen la tendencia a suponer, para lo cual emplean fórmulas sugeridas por diversas instituciones, por ejemplo el Comité ACI-318, pero que son formulas aplicadas para diferentes tipos de agregados de los que podemos encontrar en nuestra zona.

Por lo ya mencionado es de importancia social conocer el valor del Módulo de Elasticidad Estático que se determine de los materiales encontrados en nuestro sector.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General:

Determinar la influencia de la resistencia a compresión del hormigón en el Módulo de Elasticidad Estático con áridos de la ciudad de Ambato Provincia de Tungurahua.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de las canteras, Playa Llagchoa, Villacrés y de la Planta Industrial de Trituración.
- Establecer la curva esfuerzo-deformación del hormigón
- Comparar el Módulo de Elasticidad Estático realizado mediante ensayos de laboratorio con el propuesto por el comité del ACI – 318 y ACI 363
- Determinar un valor para extrapolación del Módulo de Elasticidad estático.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Serrano María (2010) en su tesis de grado “Análisis de sensibilidad para estimar el módulo de elasticidad estático del concreto” expresa que “Se obtuvieron las resistencias características cercanas a las resistencias especificadas de 21 y 28MPa, pero el módulo estático de elasticidad experimental es un poco menor con respecto al teórico, esto se debe a la calidad de los agregados, en especial al agregado grueso, el cual presenta una elevada porosidad que se evidencia por su alta capacidad de absorción y baja densidad, que hacen que el hormigón tenga mayor deformación bajo la acción de una carga axial.”

Tamayo Jazmina (2011) en su tesis de grado "Los agregados de las minas ubicadas junto a la vía Puyo – madre tierra provincia de Pastaza y su incidencia en la resistencia del hormigón" concluye que “Mientras mayor sea el nivel de compactación del hormigón, mejor será su resistencia y más económica será su fabricación; por esta razón resulta importante cuidar la granulometría (tamaño de los granos y distribución estadística de esos tamaños de grano) de los áridos. También es importante que las características mecánicas de los áridos sean adecuadas y que los áridos estén libres de impurezas.”

Tomado como referencia a **Ocaña Jorge (2012)** en su tesis de grado “Estudio del Módulo de elasticidad estático del hormigón en base a la resistencia a la compresión ($f'_c = 21, 28 \text{ Mpa}$) fabricado con material de la mina de Pintag.” Establece que “Debido a las características geológicas propias de nuestro país, no es posible la aplicación directa de las ecuaciones propuestas por el ACI para la obtención del Módulo Estático de Elasticidad de los hormigones. Existen

diferencias que se deben principalmente a la calidad de los granulados, la cual influye directamente en la resistencia de los hormigones.”

Ocaña Jorge (2012) en su tesis de grado “Estudio del Módulo de elasticidad estático del hormigón en base a la resistencia a la compresión ($f'_c = 21, 28 \text{ Mpa}$) fabricado con material de la mina de Pintag.” propone que “Los módulos experimentales como teóricos según Saliger, son un porcentaje de la media aritmética, y nos da la relación de módulo más crítica, pero no es la más confiable, en el análisis según Montoya se rige a una distribución normal estadística y se acerca a la resistencia característica de la investigación.”

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.

La presente investigación se realizará por la necesidad de conocer el valor de Módulo de Elasticidad Estático del hormigón, mediante la resistencia a la compresión del mismo con agregados utilizados en la zona de Ambato, siendo tan importante a la hora de diseñar estructuras que tengan un mejor desempeño.

Este proyecto que está dirigido a todos aquellos profesionales que están interesados y son conscientes de la importancia del verdadero valor del Módulo de Elasticidad Estático en una estructura, ya que en la actualidad es tan significativo como el valor de la resistencia a la compresión del hormigón.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

2.3.1 Agregado grueso y fino

El material granular constituye el mayor volumen en la mezcla para la preparación de un hormigón. Sus propiedades físicas y mecánicas juegan un papel muy importante en las del hormigón. Puede provenir de la trituración de mantos de roca natural o de cantos rodados, de la selección de fragmentos naturales de roca, prismáticos o redondeados; o de materiales artificialmente fabricados.

El material granular debe estar compuesto, como mínimo, de dos porciones de tamaños diferentes; el árido grueso, cuyas partículas son, por lo general, más grandes que 4.75 mm de diámetro nominal y el árido fino, cuyo tamaño de partículas está entre 75 μm y 4.75 mm. Estos a su vez, se pueden separar en dos o tres tamaños diferentes.

El tamaño nominal de las partículas más grandes del árido grueso no debe ser mayor a:

- 1/5 de la menor dimensión de la sección transversal del elemento a construir,
- 1/3 del espesor de la losa
- 3/4 del espaciamiento libre entre varillas o paquetes de varillas de acero de refuerzo, cables de pretensado o ductos embebidos.

Las partículas del árido grueso serán de formas cúbicas, evitando las formas alargadas y laminares. Los cantos rodados serán de formas esféricas, evitando las partículas planas. El árido fino más adecuado es la arena natural de granos redondos, pero se puede emplear el polvo de piedra, producto de la trituración de las rocas, siempre que no tengan exceso de finos o partículas alargadas y laminares.

Los áridos para hormigón, al igual que el cemento, serán investigados y ensayados en un laboratorio acreditado por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano (OAE). Las normas y ensayos básicos que se deben realizar para determinar las propiedades físicas del material son:

La Norma NTE INEN 695:2010 establece el procedimiento para la obtención de los agregados de una cantera para propósitos de investigaciones.

La Norma NTE INEN 696:2011 establece la determinación de las granulometrías de los áridos gruesos y finos que se utilizarán en el hormigón.

La Norma NTE INEN 856:2010 y la Norma NTE INEN 857:2010 para la determinación de las densidades promedio de una muestra de agregado, la densidad relativa y la absorción del agregado.

2.3.2 Mezcla y Curado de Hormigón

Los parámetros más exigentes se deben utilizar para determinar la dosificación de la mezcla. La dosificación se puede basar en la experiencia en obras similares, en mezclas de prueba o en ambas, también puede ser realizado mediante métodos como la de Universidad Central y el método del ACI. La evaluación y aceptación del hormigón será según lo indicado en la parte pertinente de las normas NTE INEN 1 855-1 (ASTM C 94) y NTE INEN 1 855-2.

La norma NTE INEN 1576 – 2011 establece los procedimientos para la elaboración y curado de cilindros de hormigón, tomados de muestras representativas de hormigón fresco, utilizado en la construcción de una obra.

2.3.3 Módulo de Elasticidad Estático del Hormigón

Para la determinación del valor de Módulo de Elasticidad Estático del hormigón se establece una fórmula propuesta en el Capítulo 1 y 2 de la norma NEC-11, el módulo de elasticidad del hormigón E_c (GPa), será calculado con la ecuación (1-16) y (1-15) respectivamente, además se puede establecer por medio de ensayos a una probeta de compresión y deformación, también puede ser determinado mediante el Código ACI 318 y ACI 363.

2.3.4 Toma de muestras de Hormigón

Para la toma de muestras de hormigón deben ser obtenidas de acuerdo a la norma NTE INEN 1 763, además el número de cilindros deben ser los indicados en las especificaciones de la obra o en la NTE INEN 1855-1.

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

2.4.1 Supraordinación de las variables

Variable Independiente

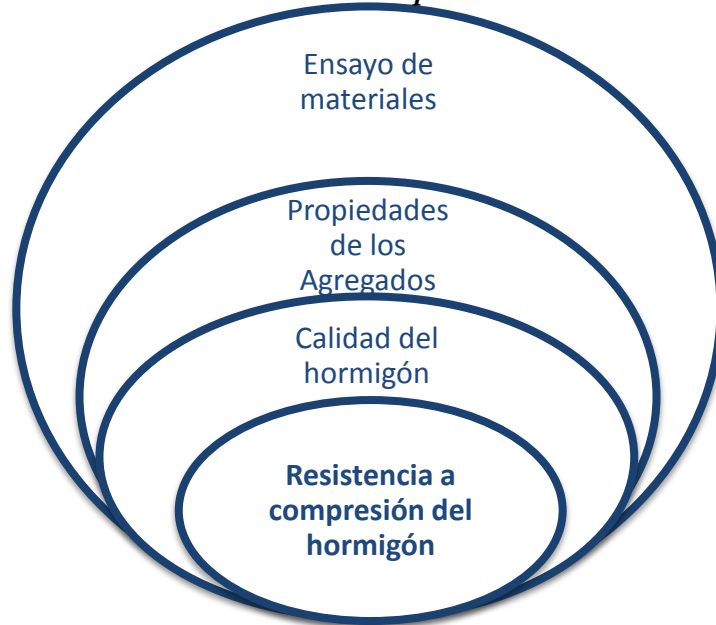


Gráfico 1: Supraordinación de la Variable Independiente

Variable Dependiente



Gráfico 2: Supraordinación de la Variable Dependiente

2.4.2 Definiciones

DEFINICIONES DE LOS NIVELES DE SUPRAORDINACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

ENSAYO DE MATERIALES

“Con el ensayo de los materiales deben determinarse los valores de resistencia, verificarse las propiedades y establecerse el comportamiento de aquellos bajo la acción de las influencias externas. El factor económico juega un rol de importancia en el campo de la fabricación en general, imponiendo un perfecto conocimiento de los materiales a utilizar, de manera de seleccionarlos para cada fin y poder hacerlos trabajar en el límite de sus posibilidades, cumpliendo con las exigencias de menor peso, mejor calidad y mayor rendimiento.

En los ensayos físicos se determinan generalmente la forma y dimensiones de los cuerpos, su peso específico y densidad, contenido de humedad, etc., y en los mecánicos la resistencia, elasticidad y plasticidad, ductilidad, tenacidad y fragilidad, etc.”⁵

Así podemos detallar las clasificaciones básicas de ensayos de materiales:

- **Por la rigurosidad del Ensayo**

Científicos: Se hacen en laboratorios especializados y permiten tener valores precisos y normalizados.

Tecnológicos: Se hacen en fábricas e indican la calidad de los materiales.

- **Por la naturaleza del Ensayo**

Químicos: Permiten conocer la composición cualitativa y cuantitativa del material, así como la naturaleza del enlace químico o la estabilidad del material frente a agentes corrosivos.

⁵ <http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi2000/santafesur/ensayodemateriales/Ensayos/Index.htm>

Metalográficos: Permiten conocer la estructura interna del material con el uso del microscopio.

Físicos: Cuantifican ciertas propiedades físicas, densidad, punto de ebullición, punto de fusión y conductividad térmica.

Mecánico: Se determina la resistencia del material a ciertos esfuerzos.

- **La forma de realizar los Ensayos**

Destructivos: Producen daño o rotura de la pieza sometida a ensayo.

No destructivos: No se ven alterada su forma y presencia inicial.

- **Por la velocidad de aplicación de los esfuerzos**

“Estáticos: La velocidad de aplicación de la fuerza no influye en el resultado, como por ejemplo el ensayo de tracción.

Dinámico: La carga es aplicada de forma brusca o es alternativamente variable con el tiempo. La velocidad de aplicación juega un papel importante en el ensayo.”⁶

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Debe evitarse el uso de agregados planos o alargados, ya que además de producir bajas masas unitarias y baja resistencia mecánica, tienen tendencia a colocarse horizontalmente formándose bajo su superficie bolsas de agua cuando esta sube a la superficie debido a la sedimentación de las partículas sólidas; esta agua almacenada bajo las partículas deja un espacio vacío cuando después del fraguado

⁶ <http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi2000/santafesur/ensayodemateriales/Ensayos/Index.htm>

el agua evapora, por lo cual trae como consecuencia una notable reducción de la resistencia del concreto.

Una adecuada densidad aparente está entre 2.3 y 2.9 gr/cm³. Cuanto mayor es su densidad mejor es su calidad y mejor su absorción, que oscila entre 1 y 5%.

El agregado grueso debe tener una resistencia al desgaste en la máquina de los ángeles que garantice su dureza. Los límites recomendados son: Si el agregado va a ser usado en lozas de concreto o en pavimentos rígidos el desgaste debe ser menor del 35%, si va a ser usado en otras estructuras el desgaste debe ser menor del 40%.

Agregados con partículas esféricas y cúbicas son los más convenientes para concreto, porque tienen mayor resistencia y es menor el consumo de cemento debido al mayor acomodo de las partículas, o sea mayor cantidad de material por unidad de volumen.

Respecto a los resultados del agregado sometido al ensayo de ataque de los sulfatos, las especificaciones para los materiales utilizados en la obra son: Si la solución empleada es sulfato de sodio, la pérdida total en el agregado grueso no debe ser mayor del 12% y si la solución empleada es sulfato de magnesio la pérdida total no debe ser mayor del 18%.

Tipo de Agregado

El tipo de agregado pétreo se puede determinar, de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, se pueden clasificar en los siguientes tipos:

a) Agregados Naturales.

Son aquellos que se utilizan solamente después de una modificación de su distribución de tamaño para adaptarse a las exigencias según su disposición final.

b) Agregados de Trituración.

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales de canteras cuyas propiedades físicas sean adecuadas.

c) Agregados Artificiales.

Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.

d) Agregados Marginales.

Los agregados marginales engloban a todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

Clasificación de los agregados

Desde un punto de vista práctico, los agregados se pueden clasificar en tres grandes grupos: agregados calizos, agregados silíceos y agregados ígneos y metamórficos.

Agregados Calizos.

La roca caliza es muy común, abundante y económica en los procesos de trituración, se emplea generalmente en todas las capas de los firmes, exceptuándose en algunas ocasiones como agregado grueso en las capas de rodadura, debido a la facilidad que tiene de pulimentarse en condiciones de

servicio, su carácter es básico, presenta por lo regular menores problemas de adhesividad, es decir, de afinidad con los ligantes asfálticos. En mezclas asfálticas se utiliza para mejorar esta característica cuando se emplean además otro tipo de agregados, más duros pero también más ácidos (silíceos, pórfidos, entre otros).

Agregados Silíceos.

Los agregados silíceos procedentes de trituración de gravas naturales es otro material de amplia utilización en todas las capas de los firmes. Se extraen de yacimientos granulares, en los que las partículas de mayor tamaño se separan por cribado y a partir de ellas por machaqueos sucesivos, se obtienen fracciones de menor tamaño, con una angulosidad tanto mayor cuantas más caras de fractura presenten. Pueden no aportar una suficiente adhesividad con los ligantes asfálticos, sin embargo, si el material obtenido tiene un elevado contenido de sílice y de caras de fractura, sus características mecánicas y su rozamiento interno proporcionan un esqueleto mineral bueno para utilizarlo incluso en mezclas asfálticas sometidas a la acción directa del tráfico.

Agregados Ígneos y Metamórficos.

Son materiales que por sus características resultan muy adecuados para utilizarlos como agregado grueso en las capas de rodadura. Pueden incluirse en este grupo los basaltos, gabros, pórfidos, granitos, cuarcitas, etc. Sus cualidades para resistir al pulimento los hacen idóneos para garantizar la textura superficial necesaria en un periodo de tiempo, incluso con tráfico muy intensos. En este grupo tan amplio, los agregados de naturaleza más ácida pueden presentar una deficiente adhesividad con los ligantes asfálticos, pero en la mayoría de los casos el problema se puede resolver con activantes que son sustancias que tienen la misión específica de mejorar la adhesividad con los ligantes, o también el problema se resuelve empleando emulsiones adecuadas y en el caso de mezclas asfálticas, con el empleo de finos de naturaleza básica y un polvo mineral adecuado.

Granulometría:

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (*Norma ASTM C 136*). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar *ASTM C 33* para agregado fino tiene aberturas que varían desde la *malla No. 100(150 micras)* hasta *9.52 mm*.

Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. Para la construcción de vías terrestres, la norma *ASTM D 448* enlista los trece números de tamaño de la *ASTM C 33*, más otros seis números de tamaño para agregado grueso. La arena o agregado fino solamente tiene un rango de tamaños de partícula.

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad y contracción.

Granulometría de los agregados finos:

Depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y el tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua – cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango de granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia.

Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía.

Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30mm (No. 50) y de 15mm (No. 100) sean reducidos a 15% y 0%, respectivamente, siempre y cuando:

1): El agregado que se emplee en un concreto que contenga más de 296 Kg de cemento por metro cubico cuando el concreto no tenga inclusión de aire.

2): Que el módulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1, el agregado fino se deberá rechazar a menos de que se hagan los ajustes adecuados en las proporciones el agregado fino y grueso.

Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30 mm (No. 50) y de 1.15 mm (No. 100), afectan la trabajabilidad, la textura superficial, y el sangrado del concreto.

El módulo de finura (FM) del agregado grueso o del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C 125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100.

El módulo de finura es un índice de la finura del agregado entre mayor sea el modo de finura, más grueso será el agregado.

El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

Los límites de la norma ASTM C33 con respecto al tamaño de las cribas se indican a continuación:

Tabla 1: Tamaño de Tamices ASTM C33

Tamaño de la malla	Porcentaje que pasa en peso
9.52 mm (3/8")	100
4.75 mm (No.4)	95 a 100
2.36 mm (No.8)	80 a 100
1.18 mm (No.16)	50 a 85
0.60 mm (No.30)	25 a 60
0.30 mm (No.50)	10 a 30
0.15 mm (No.100)	2 a 10

Fuente: BOWLES, Joseph "Manual de Laboratorio de Suelos. Editorial. Mc Graw"

Granulometría de los agregados gruesos:

El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores, para revenimiento de aproximadamente 7.5 cm para un amplio rango de tamaños de agregado grueso.

El número de tamaño de la granulometría (o tamaño de la granulometría). El número de tamaño se aplica a la cantidad colectiva de agregado que pasa a través de las mallas.

El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño. Por ejemplo, el agregado de número de tamaño 67 tiene un tamaño máximo de 25 mm y un tamaño máximo nominal de 19 mm. De noventa a cien por ciento de este agregado debe pasar la malla de 19 mm y todas sus partículas deberán pasar la malla 25 mm.

Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe pasar:

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

Densidad

Depende de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo. La densidad de los agregados es especialmente

importante para los casos en que se busca diseñar concretos de bajo o alto peso unitario.

Las bajas densidades indican también que el material es poroso y débil y de alta absorción.

Dado los nuevos paradigmas surgidos en el desarrollo de la humanidad, y los cambios en los métodos que este desempeña para llevar a cabo un mejor vivir, es importante conocer cómo afectan en el concreto los distintos elementos que de este hacen parte.

Definición de densidad:

Dentro de las propiedades físicas de los agregados que dependen directamente de las propiedades de la roca original de donde provienen se encuentra la densidad, la cual está definida como la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada. Sin embargo, en el caso de los agregados para concreto hay necesidad de definir cuidadosamente el término densidad, puesto que generalmente entre sus partículas hay cavidades o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua, dependiendo de su permeabilidad interna.

Densidad absoluta:

La densidad absoluta se define como la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupa única y exclusivamente la masa sólida, ósea que se excluyen los todos los poros, saturables y no saturables.

Densidad nominal:

La densidad nominal se define como la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos los poros no saturables.

Densidad aparente:

“La densidad aparente está definida como la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos todos los poros saturables y no saturables.

Es conveniente anotar que la densidad aparente se puede determinar en estado seco o en estado húmedo, dependiendo del grado de saturación de los poros. En el campo de la tecnología del concreto la densidad que interesa es la densidad aparente debido a que lógicamente con ella es que se determina la cantidad (en peso) de agregado requerida para un volumen unitario de concreto, porque los poros interiores de las partículas de agregado van a ocupar un volumen dentro de la masa de concreto y porque el agua que se aloja dentro de los poros saturables no hace parte del agua de mezclado; entendiéndose como el agua de mezclado tanto el agua de hidratación del cemento como el agua libre que en combinación con el cemento produce la pasta lubricante de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico.

Por lo general, el valor de esta densidad en los agregados pétreos oscila entre 2.30 g/cm³ y 2.8 g/cm³ según la roca de origen.”⁷

Condiciones Húmedas

Secado al horno: Toda la humedad externa eh interna es eliminada por calentamiento a una temperatura de 270 °F

⁷ <http://www.buenastareas.com/ensayos/CalidadDeLosAgregados/1224851.htm>

Humedad Natural: Cuando no hay humedad libre o superficial, y parte de los poros internos de partículas están llenas de agua.

Saturado superficie seca (SSS): Cuando no hay humedad libre o superficial, pero todos los poros internos de las partículas están llenos de agua.

Saturado superficie húmeda (SSH): Cuando hay humedad superficial, la partícula esta visiblemente mojada, y todos sus poros están llenos de agua.

Tomado de: **Medina Santiago** en "Manual de Ensayo de Materiales II"

Capacidad de Absorción

“Es el proceso por el cual un líquido penetra y tiende a llenar los poros permeables de un cuerpo sólido poroso; también es el incremento en masa de un cuerpo sólido poroso permeable. El contenido de humedad de un granulado se basa en su masa al ser horneado hasta secar, aunque es la humedad libre o superficial excedente a la absorción causante de la condición de saturación con superficie seca.

En una mezcla de hormigón, la humedad libre superficial forma parte del agua para mezclado y debe tomarse en consideración al determinar la cantidad de agua a agregar a una mezcla.”

De igual manera un granulado seco absorbe un poco de agua para mezclado. De ahí que al cuantificar las mezclas de hormigón, todos los cálculos tomen como referencia la condición de saturación con superficie seca.”⁸

Porcentaje de Vacíos

Es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas por lo que su valor

⁸ <http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi2000/santafesur/ensayodemateriales/Ensayos/Index.htm>

es relativo como en el caso del peso unitario. Se evalúa usando la expresión recomendada por ASTM C 29

Porcentaje Humedad

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla.

CALIDAD DEL HORMIGÓN

El hormigón es un material compuesto cuyas propiedades no son necesariamente inherentes, sino que resultan predecibles y regulables mediante la acertada selección y combinación de sus componentes. Esta circunstancia es la que permite especificar, diseñar y elaborar el hormigón adecuado a los requerimientos de cada aplicación en particular.

De este modo, la justa concordancia entre la calidad del hormigón que se emplea en construcciones, define la utilización racional de este material. Una calidad deficiente en el hormigón que se utiliza, representa un riesgo que con frecuencia absorbe el propietario de la obra. Por lo contrario, una calidad en exceso constituye un desperdicio que no beneficia a nadie y que también suele ser en detrimento del propietario.

El control de calidad del hormigón abarca el control de la aptitud de sus componentes, los equipos empleados, las proporciones de la mezcla, características en estado fresco y propiedades del hormigón endurecido.

El objetivo de implementar un control de calidad es doble: técnico y económico. Desde el punto de vista técnico, permite reducir la variación de resultados y tener mayor certeza sobre el producto final. Esto permite trabajar con menores márgenes de error, siempre del lado de la seguridad, haciendo economía en materiales, reduciendo las demoras y las tareas de reparación, con una consiguiente y sensible ventaja económica.

“Lógicamente, la implementación de un control de calidad depende de la magnitud e importancia de la obra. En las obras muy pequeñas y sometidas a escasas exigencias no se justifica un control excesivo, en tanto que en las obras de cierta significación el control de calidad es imprescindible y conveniente.

Es importante cómo diseñar un control de calidad. Para ello, se deben detectar todos los elementos que pueden provocar variaciones, identificar aquellos que son modificables a voluntad y determinar los márgenes de variación admisibles para los mismos. Sobre aquellos parámetros que no son controlables (por ejemplo, el clima) se debe establecer un criterio estricto. Todos sabemos que no se puede hormigonar con lluvia, que no se debe hormigonar si la temperatura es muy baja y hay riesgo de congelamiento del hormigón fresco, cuando la temperatura ambiente es excesiva, a menos que se adopten medidas especiales.

La calidad de un hormigón se puede conocer mediante ensayos en sus dos estados, fresco para conocer sus características y endurecido para determinar sus cualidades y resistencia. El comportamiento de un hormigón frente a los distintos esfuerzos es variable y complejo.”⁹



Gráfico 3: Calidad de hormigón mediante Cilindros.

“Ensayos previos: determinan la dosificación del material de acuerdo con las condiciones de ejecución. Se realizan antes de comenzar las obras.

⁹ <http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi2000/santafesur/ensayodemateriales/Ensayos/Index.htm>

Ensayos característicos: comprueban que la resistencia y dispersión del hormigón en obra se encuentran dentro de los límites del proyecto.

Ensayos de control: con probetas moldeadas en obra para comprobar que la resistencia del hormigón se mantiene igual o mayor que la exigida.

Ensayos de información: pretenden conocer la resistencia del hormigón correspondiente a una parte de la obra y a una edad determinada.”¹⁰

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN

En el proyecto previo de los elementos, la Resistencia característica (f_{ck}) del hormigón es aquella que se adopta en todos los cálculos como resistencia a compresión del mismo, y dando por hecho que el hormigón que se ejecutará resistirá ese valor se dimensionan las medidas de todos los elementos estructurales.

La Resistencia característica de proyecto (f_{ck}) establece por tanto el límite inferior, debiendo cumplirse que cada amasada de hormigón colocada tenga esa resistencia como mínimo. En la práctica, en la obra se realizan ensayos estadísticos de resistencias de los hormigones que se colocan y el 95% de los mismos debe ser superior a f_{ck} , considerándose que con el nivel actual de la tecnología del hormigón, una fracción defectuosa del 5% es perfectamente aceptable.

La resistencia del hormigón a compresión se obtiene en ensayos de rotura a compresión de probetas cilíndricas normalizadas realizados a los 28 días de edad y fabricadas con las mismas amasadas puestas en obra.

“Además, los cálculos de estructuras de hormigón armado deben contar, como dato fundamental, con la resistencia unitaria del hormigón, la cual se provee para alcanzar en la realidad de la obra, a la correspondiente al cálculo.

¹⁰ Normas NTE INEN 2001

Para calcular las dosificaciones adecuadas a la resistencia mecánica, y de acuerdo a las condiciones de servicio previstas en los cálculos; en función de las propiedades de los materiales y a la disposición, forma y tamaño de encofrados; previamente se efectúan muestras de mezclas de hormigón en base a dosificaciones teóricas, ensayadas en probetas separadas con esas mezclas para verificar si la resistencia obtenida con la dosificación teórica está en coincidencia con la obtenida por cálculo.

Además, para la realización obtención de la resistencia a la compresión del hormigón se necesitan prensas de compresión.”¹¹



Gráfico 4: Prensa de compresión de cilindros

Fuente: <http://www.google.com.ec/imagenes/maquinadecompression>

¹¹ JIMÉNEZ MONTOYA, Hormigón Armado, tomo II.

DEFINICIONES DE LOS NIVELES DE SUPRAORDINACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

ESFUERZO DEL HORMIGÓN

“Se define como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²) S.I. a una edad de 28 días se le designe con el símbolo $f'c$. Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas de especímenes de mortero o de concreto, a menos de 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.

La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de puente, de edificios y otras estructuras.

El concreto de uso generalizado tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 kg/cm cuadrado. Un concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de cuando menos 420 kg/cm cuadrado. Resistencias de 1,400 kg/cm cuadrado se ha llegado a utilizar en aplicaciones de construcción.

La resistencia a la flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como 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 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.”¹²

¹² JIMÉNEZ MONTOYA, Hormigón Armado, tomo II.

“El valor de la resistencia a la tensión del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1.33 a 1.99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión. La resistencia a la torsión para el concreto está relacionada con el módulo de ruptura y con las dimensiones del elemento de concreto.

La resistencia al cortante del concreto puede variar desde el 35% al 80% de la resistencia a compresión. La correlación existe entre la resistencia a la compresión y resistencia a flexión, tensión, torsión, y cortante, de acuerdo a los componentes del concreto y al medio ambiente en que se encuentre.”¹³

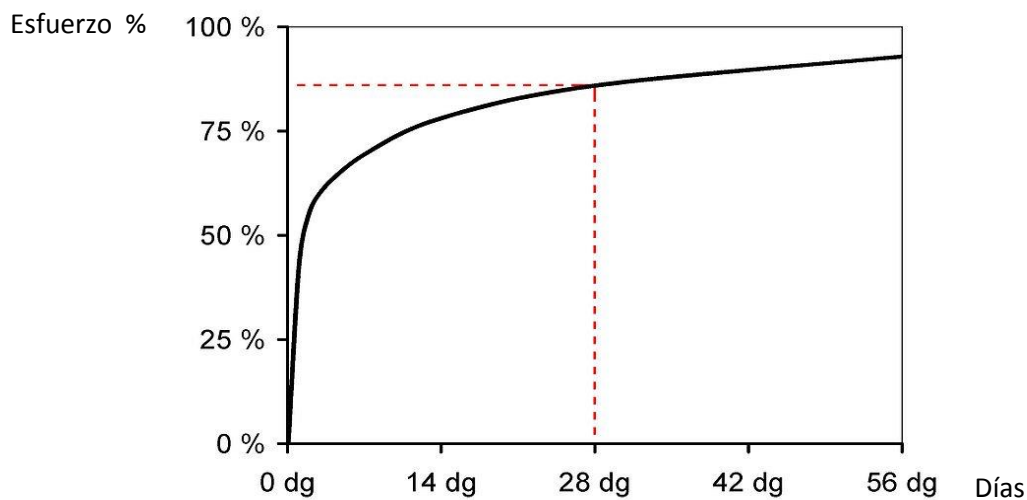


Gráfico 5: Diagrama indicativo de la resistencia en (%)

“Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación Agua – Cemento y la edad, o el grado a que haya progresado la hidratación. Estos factores también afectan a la resistencia a flexión y a tensión, así como a la adherencia del concreto con el acero, las relaciones edad – resistencia a compresión, cuando se requiera de valores más precisos para el concreto se deberán desarrollar curvas para los materiales específicos y para las proporciones de mezclado que se utilicen en el trabajo.”¹⁴

¹³ JIMÉNEZ MONTOYA, Hormigón Armado, tomo II.

¹⁴ <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/modulo-de-elasticidad-del-hormigon.html>

“Para una trabajabilidad y una cantidad de cemento dado, el concreto con aire incluido necesita menos agua de mezclado que el concreto sin aire incluido. La menor relación Agua – Cemento que es posible lograr en un concreto con aire incluido tiende a compensar las resistencias mínimas inferiores del concreto con aire incluido, particularmente en mezclas con contenidos de cemento pobres e intermedios.

En general, cuando se somete un material a un conjunto de fuerzas se produce tanto flexión, como cizallamiento o torsión, todos estos esfuerzos conllevan la aparición de tensiones tanto de tracción como de compresión. Aunque en ingeniería se distingue entre el esfuerzo de compresión (axial) y las tensiones de compresión.”¹⁵

DIAGRAMA ESFUERZO – DEFORMACIÓN

En el hormigón, es tan importante conocer las deformaciones como los esfuerzos. Esto es necesario para estimar la pérdida de pres-esfuerzo en el acero y para tenerlo en cuenta para otros efectos del acortamiento elástico. Tales deformaciones pueden clasificarse en cuatro tipos: deformaciones elásticas, deformaciones laterales, deformaciones plásticas, y deformaciones por contracción.

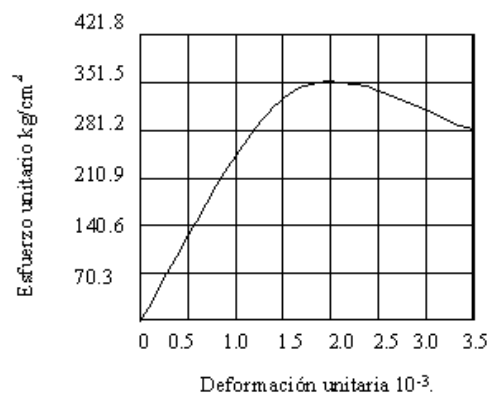


Gráfico 6: Curva Típica del Esfuerzo - Deformación del Hormigón

Fuente: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011>

¹⁵ <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/modulo-de-elasticidad-del-hormigon.html>

Deformaciones elásticas

“El término deformaciones elásticas es un poco ambiguo, puesto que la curva esfuerzo-deformación para el concreto no es una línea recta aun a niveles normales de esfuerzo, ni son enteramente recuperables las deformaciones. Pero, eliminando las deformaciones plásticas de esta consideración, la porción inferior de la curva esfuerzo-deformación instantánea, que es relativamente recta, puede llamarse convencionalmente elástica. Entonces es posible obtener valores para el módulo de elasticidad del concreto.

El módulo varía con diversos factores, notablemente con la resistencia del concreto, la edad del mismo, las propiedades de los agregados y el cemento, y la definición del módulo de elasticidad en sí, es el módulo tangente, inicial o secante. Aún más, el módulo puede variar con la velocidad de la aplicación de la carga y con el tipo de muestra o probeta, ya sea un cilindro o una viga.

Del solo estudio de las curvas de esfuerzo-deformación resulta obvio que el concepto convencional de módulo de elasticidad no tiene sentido en el concreto. Por lo tanto, es necesario recurrir a definiciones arbitrarias, basadas en consideraciones empíricas. Así, se puede definir el módulo tangente inicial o tangente a un punto determinado de la curva esfuerzo-deformación y el módulo secante entre dos puntos de la misma.

El módulo secante se usa en ensayos de laboratorio para definir la deformación de un concreto dado. La ASTM (Referencia 16) recomienda la pendiente de la línea que une los puntos de la curva correspondiente a una deformación de 0.00005 y al 40% de la carga máxima.

Se han propuesto muchas relaciones que expresan el módulo de elasticidad en función de la resistencia del concreto.”¹⁶

¹⁶ <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011>

Deformaciones laterales

Cuando al hormigón se le comprime en una dirección, al igual que ocurre con otros materiales, éste se expande en la dirección transversal a la del esfuerzo aplicado. La relación entre la deformación transversal y la longitudinal se conoce como relación de Poisson.

La relación de Poisson varía de 0.15 a 0.20 para concreto, habiendo excepciones, muy bajos como para algunos concretos ($\mu=0,1$)

Deformaciones plásticas

“La plasticidad en el concreto es definida como deformación dependiente del tiempo que resulta de la presencia de un esfuerzo.

Así definimos al flujo plástico como la propiedad de muchos materiales mediante la cual ellos continúan deformándose a través de lapsos considerables de tiempo bajo un estado constante de esfuerzo o carga. La velocidad del incremento de la deformación es grande al principio, pero disminuye con el tiempo, hasta que después de muchos meses alcanza un valor constante asintóticamente

Se ha encontrado que la deformación por flujo plástico en el concreto depende no solamente del tiempo, sino que también depende de las proporciones de la mezcla, de la humedad, de las condiciones del curado, y de la edad del concreto a la cual comienza a ser cargado. La deformación por flujo plástico es casi directamente proporcional a la intensidad del esfuerzo. Por lo tanto es posible relacionar a la deformación por flujo plástico con la deformación elástica inicial mediante un coeficiente de flujo plástico”¹⁷

En general un modelo de plasticidad requiere definir varios elementos:

- En primer lugar en el espacio de tensiones principales se requiere definir la llamada región de tensiones admisibles, que será un conjunto cerrado (y

¹⁷ <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011>

posiblemente compacto) de dicho espacio de tensiones. La frontera de dicho conjunto usualmente se denomina superficie de fluencia.

- Para puntos del sólido cuyas tensiones principales estén contenidas en el interior de la región de tensiones admisibles el comportamiento es elástico. Sin embargo, para puntos de la superficie de fluencia es necesario definir una "regla de flujo" que explicita como aumentarán la deformación plástica en función de la tasa de aumento de la tensión y otros parámetros internos si se aumenta la sollicitación sobre un material que ha alcanzado su límite de fluencia.
- Los modelos de plasticidad imperfecta requerirán la definición de un conjunto de variables internas que den cuenta del endurecimiento y del desplazamiento de la región de tensiones admisibles a lo largo del tiempo en función de las tasas de aumento de las otras variables.

La existencia de variables internas como el grado de plastificación (deformación plástica), el endurecimiento y otras hace que la relación entre tensiones y deformaciones sea más compleja que en el caso elástico, en particular, dado un nivel de deformación elástica las tensiones no pueden conocerse a menos que se conozca cómo han variado las variables internas.

Deformaciones por contracción

Las mezclas para concreto normal contienen mayor cantidad de agua que la que se requiere para la hidratación del cemento. Esta agua libre se evapora con el tiempo, la velocidad y la terminación del secado dependen de la humedad, la temperatura ambiente, y del tamaño y forma del espécimen del concreto. El secado del concreto viene aparejado con una disminución en su volumen, ocurriendo este cambio con mayor velocidad al principio que al final.

De esta forma, la contracción del concreto debida al secado y a cambios químicos depende solamente del tiempo y de las condiciones de humedad, pero no de los esfuerzos.



Gráfico 7: Deformaciones por Contracción del Hormigón

“La magnitud de la deformación de contracción varía por muchos factores. Por un lado, si el concreto es almacenado bajo el agua o bajo condiciones muy húmedas, la contracción puede ser cero. Puede haber expansiones para algunos tipos de agregados y cementos. Por otro lado, para una combinación de ciertos agregados y cemento, y con el concreto almacenado bajo condiciones muy secas, puede esperarse una deformación grande del orden de 0.001 mm.

La contracción del concreto es algo proporcional a la cantidad de agua empleada en la mezcla. De aquí que si se quiere la contracción mínima, la relación agua cemento y la proporción de la pasta de cemento deberá mantenerse al mínimo.

La calidad de los agregados es también una consideración importante. Agregados más duros y densos de baja absorción y alto módulo de elasticidad expondrán una contracción menor. Concreto que contenga piedra caliza dura tendrá una contracción menor que uno con granito, basalto, y arenisca de igual grado, aproximadamente en ese orden.”¹⁸

La cantidad de contracción varía ampliamente, dependiendo de las condiciones individuales. Para propósitos de diseño, un valor promedio de deformación por

¹⁸ <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011>

contracción será de 0.0002 a 0.0006 para las mezclas usuales de concreto empleadas en las construcciones pre-esforzadas.

El valor de la contracción depende además de las condiciones del ambiente.

MÓDULO DE ELASTICIDAD

“Un módulo elástico es un tipo de constante elástica que relaciona una medida relacionada con la tensión y una medida relacionada con la deformación.

La diferencia entre el Módulo de Elasticidad Estático y Dinámico, es que para la determinación del estático se aplicara una carga lenta, mientras que para el Dinámico se aplicará carga rápida.

Los materiales elásticos isótropos quedan caracterizados por un módulo elástico y un coeficiente elástico (o razón entre dos deformaciones). Es decir, conocido el valor de uno de los módulos elásticos y del coeficiente de Poisson se pueden determinar los otros módulos elásticos. Los materiales ortótropos o anisótropos requieren un número de constantes elásticas mayor.

Es definido como el cambio de esfuerzos con respecto a la deformación elástica, considerándosele como una medida de la resistencia del material a las deformaciones.

El módulo de elasticidad de un material es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. Representa la rigidez del material ante una carga impuesta sobre el mismo.”¹⁹

“Cuando la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria a que está sometido el material es lineal, constante y los esfuerzos aplicados no alcanzan el

¹⁹ <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/modulo-de-elasticidad>

límite de proporcionalidad, el material tiene un comportamiento elástico que cumple con la Ley de Hooke”²⁰

Módulo de elasticidad longitudinal

“El módulo de elasticidad longitudinal o módulo de Young relaciona la tensión según una dirección con las deformaciones unitarias que se producen en la misma dirección.

Además, El módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Este comportamiento fue observado y estudiado por el científico inglés Thomas Young.

Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de Young tiene el mismo valor para una tracción que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico, y es siempre mayor que cero.

Tanto el módulo de Young como el límite elástico son distintos para los diversos materiales. El módulo de elasticidad es una constante elástica que, al igual que el límite elástico, puede encontrarse empíricamente mediante ensayo de tracción del material.

Él módulo de elasticidad del hormigón representa la rigidez de este material ante una carga impuesta sobre el mismo. El ensayo para la determinación del módulo de elasticidad estático del concreto se hace por medio de la Norma INEN que tiene como antecedente la ASTM C 469 y tiene como principio la aplicación de carga estática y de la correspondiente deformación unitaria producida.”²⁰

²⁰ <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/modulo-de-elasticidad>

“La primera fase es la zona elástica, donde el esfuerzo y la deformación unitaria pueden extenderse aproximadamente entre 0% al 40% y 45% de la resistencia a la compresión del concreto.

Una segunda fase, representa una línea curva como consecuencia de una microfisuración que se produce en el concreto al recibir una carga, estas fisuras se ubican en la interface agregado- pasta y está comprendida entre el 45% y 98% de la resistencia del concreto.”²¹

Módulo de elasticidad transversal

El módulo de elasticidad transversal, también llamado módulo de cizalladura, es una constante elástica que caracteriza el cambio de forma que experimenta un material elástico (lineal e isótropo) cuando se aplican esfuerzos cortantes. Este módulo recibe una gran variedad de nombres, entre los que cabe destacar los siguientes: módulo de rigidez transversal, módulo de corte, módulo de cortadura, módulo elástico tangencial, módulo de elasticidad transversal, y segunda constante de Lamé.

Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de elasticidad transversal tiene el mismo valor para todas las direcciones del espacio. En materiales anisótropos se pueden definir varios módulos de elasticidad transversal, y en los materiales elásticos no lineales dicho módulo no es una constante sino que es una función dependiente del grado de deformación.

Coefficiente de Poisson

“El coeficiente de Poisson corresponde a la razón entre la elongación longitudinal y a la deformación transversal en un ensayo de tracción. Alternativamente el coeficiente de Poisson puede calcularse a partir de los módulos de elasticidad longitudinal y transversal.”²²

²¹ <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/modulo-de-elasticidad>

²² <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/coeficiente-de-poisson>

2.4 HIPÓTESIS

La resistencia a la compresión del Hormigón influye en el Módulo de Elasticidad Estático en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua

2.5 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.5.1 Variable Independiente

La resistencia a la compresión del Hormigón

2.5.2 Variable Dependiente

Módulo de Elasticidad Estático en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

En el presente trabajo está enfocado en una investigación cuali-cuantitativa debido a que se realizarán ensayos de los distintos materiales que constituyen el hormigón y por ende será necesario la interpretación de datos con la aplicación de las normas vigentes en el país, además se realizará el análisis y diseño de hormigones, siendo primordial determinar las propiedades de los agregados, para obtener óptimos resultados al ensayar las probetas y encontrar el módulo de elasticidad propuesto en esta investigación.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se empleará en este proyecto será de modalidad de campo, ya que necesitamos la recolección de muestras directamente desde las Canteras, Playa Llagchoa, Villacrés y de la Planta Industrial de Trituración de Áridos, de la ciudad de Ambato, despojando los agregados que se utilizará en el presente estudio, en consecuencia será una investigación experimental ya que realizaremos análisis y estudios de las propiedades de los mismos.

Se utilizara la modalidad de investigación de laboratorio, ya que se deberá utilizar un lugar que tenga los requisitos para realizar los ensayos de los materiales, por otro lado será de vital importancia la modalidad de investigación bibliográfica, porque se deberá conocer los procedimientos de ensayos para las muestras que están establecidos es las nomas INEN, Código ASTM y código ecuatoriano de la construcción.

3.3 NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los niveles de investigación a utilizarse en este proyecto serán exploratorios y descriptivos.

Será exploratorio ya que el problema del desconocimiento del verdadero valor del módulo de elasticidad del hormigón con los agregados de la ciudad de Ambato, es un tema poco estudiado, pero que con ayuda de ensayos lo determinaremos. El estudio exploratorio se centra en descubrir.

Será descriptivo ya que a más de conocer las propiedades de los agregados y las propiedades del hormigón, podremos determinar y medir valores de esfuerzos y deformaciones, para posteriormente presentar un informe describiendo el comportamiento de las variables.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

Esta investigación tiene como universo las canteras, Playa Llagchoa, Villacrés y de la Planta Industrial de Trituración de Áridos, para la elaboración de hormigones, minas que proveen a la ciudad de Ambato.

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.5.1 Variable Independiente

La resistencia a la compresión del Hormigón

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Tecn. e Instr.
La Resistencia característica (f_{ck}) del hormigón es aquella que se adopta en todos los cálculos como resistencia a <u>compresión</u> del mismo, y dando por hecho que el <u>hormigón</u> que se ejecutará resistirá ese valor se dimensionan las medidas de todos los elementos estructurales.	Compresión	Resistencia Característica	¿Cómo se determina el ensayo de compresión?	Investigación de Laboratorio
		Resistencia Media	¿Qué normas rigen para la determinar la resistencia del hormigón?	Investigación Bibliográfica Normas INEN Norma ASTM
	Hormigón	Propiedades del Hormigón	¿Cuáles son las propiedades del hormigón?	Investigación de Laboratorio
		Calidad Del Hormigón	¿Existe normas para el control de Calidad del hormigón?	Investigación Bibliográfica Normas INEN Norma ASTM

Tabla 2: Operacionalización de la Variable Independiente

3.5.2 Variable dependiente

Módulo de la Elasticidad Estático en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Tecn. e Instr.
El módulo de elasticidad de un material es la relación entre el esfuerzo del hormigón al que está sometido y su <u>deformación unitaria</u> , considerándosele como una medida de la resistencia del material a las deformaciones.	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de compresión	¿Para qué sirve conocer el esfuerzo de compresión?	Investigación de Laboratorio Investigación Bibliográfica
		Deformación	¿Cómo se determina la deformación del hormigón?	Investigación Bibliográfica Normas INEN, ASTM
	Deformación Unitaria	Deformaciones plásticas	¿Cómo se determina las deformaciones plásticas?	Investigación Bibliográfica Normas INEN, ASTM
		Deformaciones laterales	¿Qué normas debe cumplir para la determinación de las deformaciones?	Investigación Bibliográfica Normas INEN, ASTM

Tabla 3: Operacionalización de la Variable dependiente

3.6 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
1. ¿Para qué?	<ul style="list-style-type: none"> - Comparar el módulo de elasticidad estático realizado mediante ensayos de laboratorio con el propuesto por el ACI - 318 - Establecer la curva esfuerzo deformación del hormigón - Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de las canteras, Playa Llagchoa, Villacrés y de la Planta Industrial de Trituración. - Determinar un valor de extrapolación del Módulo de Elasticidad Estático
2. ¿De qué personas u objetos?	<ul style="list-style-type: none"> - De los agregados de una cantera que distribuyen a la ciudad de Ambato - Probetas cilíndricas de hormigón normalizadas.
3. ¿Sobre qué aspectos?	<ul style="list-style-type: none"> - La resistencia a la compresión del hormigón - Módulo de Elasticidad Estático del hormigón.
4. ¿Quién?	<ul style="list-style-type: none"> - El Investigador
5. ¿Dónde?	<ul style="list-style-type: none"> - Laboratorio de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
6. ¿Cómo?	<ul style="list-style-type: none"> - Mediante pruebas de laboratorio - Investigaciones en Normas INEN Y ASTM.

Tabla 4: Plan de Recolección de la Información

3.6.1 Técnicas e instrumentos

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Pruebas de Laboratorio	<ul style="list-style-type: none">- Herramienta Menor- Moldes para cilindros de hormigón- Anillo con dial- Máquina de Compresión (250000 lb)- Máquina universal (30 Ton)- Cámara de Curado

Tabla 5: Técnica e Instrumentos

3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.7.1 Plan de Procesamiento de la Información

Para el procesamiento de la información recolectada se realizará:

- Revisión crítica de la información recogida.
- Tabulación o cuadros según variables de la hipótesis: manejo de información.
- Representar los resultados mediante gráficos estadísticos.

3.7.2 Plan de Análisis e interpretación de resultados

- Comprobación de la Hipótesis dependiendo de los resultados obtenidos en la investigación
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones
- Analizar e interpretar los resultados relacionándolos con las diferentes partes de la investigación, especialmente con los objetivos y la hipótesis

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo se detallarán los ensayos de laboratorio de los agregados (grueso y fino), tomados como referencia de la tesis del Ing. Alberto Ortega de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica con el tema: **“LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS DE TRES CANTERAS DE LA CIUDAD DE AMBATO Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN EMPLEADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES”**.

Los hormigones en esta tesis se realizarán con cemento TIPO IP regulado en la norma INEN 152.

4.1.1 Ensayos Realizados

4.1.1.1 Agregado Grueso

Análisis Granulométrico
Peso Unitario Suelto
Peso Unitario Compactado
Peso Específico
Capacidad de Absorción
Resistencia al Desgaste

4.1.1.2 Agregado fino

Análisis Granulométrico
Peso Unitario Suelto
Peso Unitario Compactado
Peso Específico
Capacidad de Absorción

CANTERA VILLACRÉS

Tabla 6: Granulometría Agregado Grueso (Cantera Villacrés)

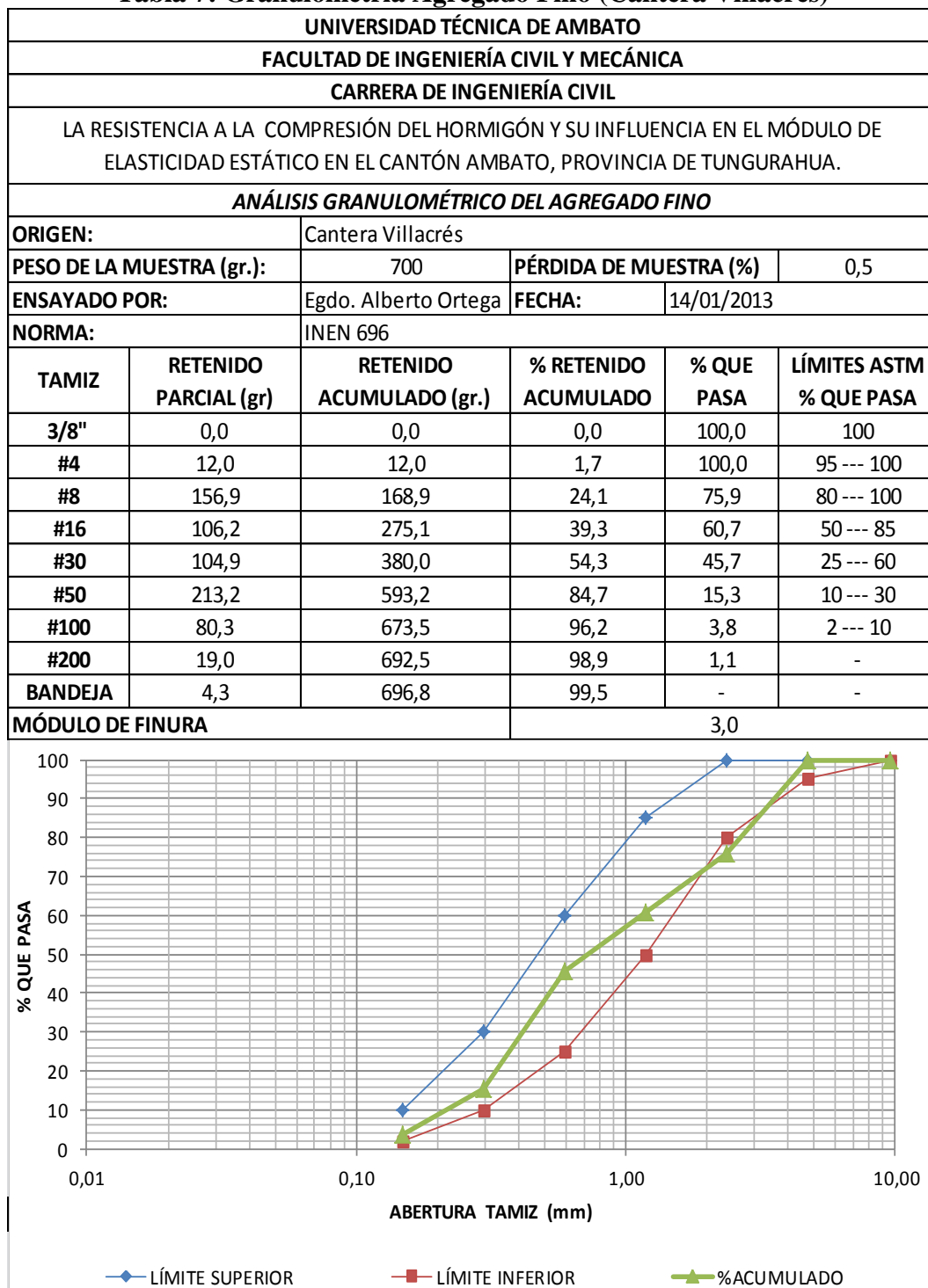
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO					
ORIGEN:		Cantera Villacrés			
PESO DE LA MUESTRA (gr.):		10000	PÉRDIDA DE MUESTRA (%)		0,7
ENSAYADO POR:		Egdo. Alberto Ortega	FECHA:		05/01/2013
NORMA:		INEN 696			
TAMIZ	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM % QUE PASA
2"	0,0	0,0	0,0	100,0	100
1 1/2"	0,0	0,0	0,0	100,0	95 --- 100
1"	1717,6	1717,6	17,2	82,8	-
3/4"	2050,4	3768	37,7	62,3	35 --- 70
1/2"	1560,5	5328,5	53,3	46,7	-
3/8"	2952,3	8280,8	82,8	17,2	10 --- 30
#4	1523,6	9804,4	98,0	2,0	0 --- 5
BANDEJA	125,8	9930,2	99,3	0,7	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:			1 1/2"		

◆ LÍMITE SUPERIOR
 ■ LÍMITE INFERIOR
 ▲ %ACUMULADO

Fuente: ORTEGA A. "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles". Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 41, Ambato, (2013).

CANTERA VILLACRÉS

Tabla 7: Granulometría Agregado Fino (Cantera Villacrés)



Fuente: ORTEGA A. "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles". Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 42, Ambato, (2013).

CANTERA VILLACRÉS

Tabla 8: Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso y Fino (Cantera Villacrés)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.				
PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:	Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	05/01/2013	
NORMA:	INEN 858			
MASA RECIPIENTE (kg.):	9,90			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm3):	20,445			
AGREGADO	AGREGADO + RECIPIENTE (kg.)	AGREGADO (kg.)	PESO UNITARIO kg/dm3	PESO UNITARIO PROMEDIO kg/dm3
GRUESO	38,0	28,1	1,374	1,382
	38,3	28,4	1,389	
FINO	36,8	26,9	1,316	1,326
	37,2	27,3	1,335	

Tabla 9: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso y Fino (Cantera Villacrés)

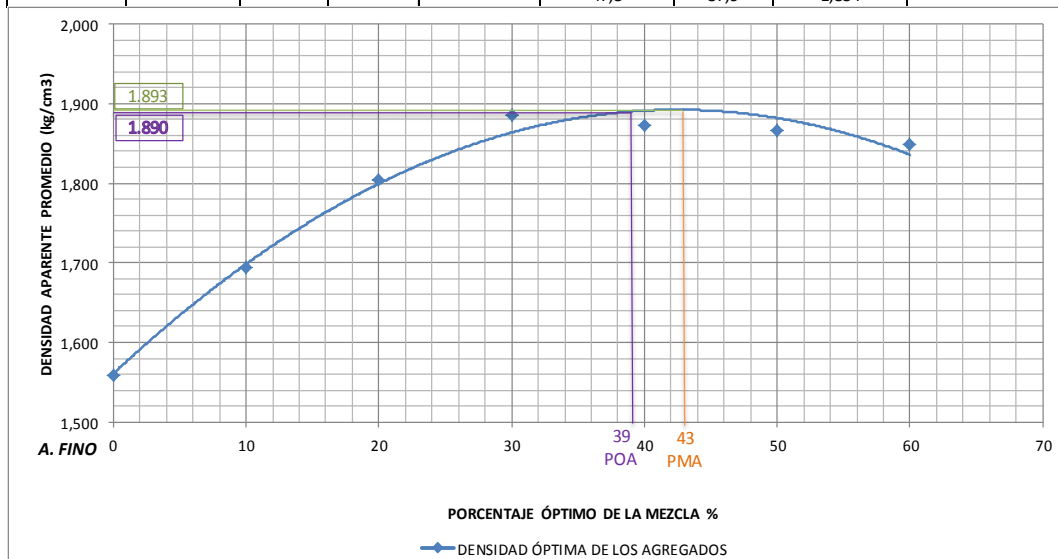
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.				
PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:	Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	05/01/2013	
NORMA:	INEN 858			
MASA RECIPIENTE (kg.):	9,90			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm3):	20,445			
AGREGADO	AGREGADO + RECIPIENTE (kg.)	AGREGADO (kg.)	PESO UNITARIO	PESO UNITARIO
GRUESO	41,8	31,9	1,560	1,558
	41,7	31,8	1,555	
FINO	42,0	32,1	1,570	1,565
	41,8	31,9	1,560	

Fuente: ORTEGA A. "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles". Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 43, Ambato, (2013).

CANTERA VILLACRÉS

Tabla 10: Peso Unitario Compactado de la Mezcla (Cantera Villacrés)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.								
PESO UNITARIO COMPACTADO DE LA MEZCLA								
ORIGEN:		Cantera Villacrés						
ENSAYADO POR:		Egdo. Alberto Ortega			FECHA:		12/01/2013	
NORMA:		INEN 858						
MASA RECIPIENTE (kg.):		9,90						
VOLUMEN RECIPIENTE (dm3):		20,445						
% MEZCLA		CANTIDAD (kg.)		FINO AÑADIDO (kg.)	AGREGADO + RECIPIENTE (kg.)	AGREGADO (kg.)	PESO UNITARIO MEZCLA kg/dm3	PESO UNITARIO PROMEDIO kg/dm3
R	A	R	A	A	AGREGADO FINO + AGREGADO GRUESO			
100	0	40	0,00	0,00	41,8	31,9	1,560	1,558
					41,7	31,8	1,555	
90	10	40	4,44	4,44	44,5	34,6	1,692	1,695
					44,6	34,7	1,697	
80	20	40	10,00	5,56	46,3	36,4	1,780	1,805
					47,3	37,4	1,829	
70	30	40	17,14	7,14	48,5	38,6	1,888	1,886
					48,4	38,5	1,883	
60	40	40	26,67	9,53	48,3	38,4	1,878	1,873
					48,1	38,2	1,868	
50	50	40	40,00	13,33	48,1	38,2	1,868	1,866
					48,0	38,1	1,864	
40	60	40	60,00	20,00	47,6	37,7	1,844	1,849
					47,8	37,9	1,854	



PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO FINO	43	%
PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO GRUESO	57	%
PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO FINO	39	%
PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO GRUESO	61	%
PESO UNITARIO MÁXIMO	1,893	gr./cm ³
PESO UNITARIO ÓPTIMO	1,890	gr./cm ³

Fuente: ORTEGA A. "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles". Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 44, Ambato, (2013).

CANTERA VILLACRÉS

Tabla 11: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso (Cantera Villacrés)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:	Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	19/01/2013	
NORMA:	INEN 857			
DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR	
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DEL RIPIO				
M1	MASA DE LA CANASTILLA EN EL AIRE	gr.	1795	
M2	MASA DE LA CANASTILLA EN EL AGUA	gr.	1505	
M3	MASA DE LA CANASTILLA + MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE	gr.	10195	
M4	MASA DE LA CANASTILLA + MUESTRA S.S.S. EN EL AGUA	gr.	6655	
DA	DENSIDAD REAL DEL AGUA	gr./cm ³	1,000	
M5 = M3 - M1	MASA DE LA MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE	gr.	8400	
M6 = M4 - M2	MASA DE LA MUESTRA S.S.S. EN EL AGUA	gr.	5150	
VR = (M5-M6) / DA	VOLUMEN REAL DE LA MUESTRA	cm ³	3250	
DR = M5 / VR	DENSIDAD REAL DEL RIPIO	gr./cm ³	2,585	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL RIPIO				
M7	MASA DEL RECIPIENTE	gr.	30,9	30,5
M8	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA S.S.S.	gr.	614,9	618,2
M9 = M8 - M7	MASA DE LA MUESTRA S.S.S.	gr.	584,0	587,7
M10	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	gr.	594,8	597,1
M11 = M10 - M7	MASA DE LA MUESTRA SECA	gr.	563,9	566,6
CA = ((M9 - M11)/M11)*100	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	%	3,56	3,72
P2 = (CA1 + CA2) / 2	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO DEL RIPIO	%	3,64	

Fuente: ORTEGA A. "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles". Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 45, Ambato, (2013).

CANTERA VILLACRÉS

Tabla 12: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino (Cantera Villacrés)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:	Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	19/01/2013	
NORMA:	INEN 856			
DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR 1	
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DE LA ARENA				
M1	MASA DEL PICNÓMETRO	gr.	163,3	
M2	MASA DEL PICNÓMETRO + MUESTRA S.S.S.	gr.	460,1	
M3	MASA DEL PICNÓMETRO + MUESTRA S.S.S. + AGUA	gr.	841,9	
M4 = M3 - M2	MASA AGUA AÑADIDA	gr.	381,8	
M5	MASA PICNÓMETRO + 500 cm3 DE AGUA	gr.	659,9	
M6 = M5 - M1	MASA DE 500 cm3 DE AGUA	gr.	496,6	
DA = M6 / 500 cm3	DENSIDAD DEL AGUA	gr./cm3	0,9932	
M7 = M6 - M4	MASA DE AGUA DESALOJADA POR LA MUESTRA	gr.	114,8	
Msss = M2 - M1	MASA DEL AGREGADO	gr.	296,8	
Vsss = M7 / DA	VOLUMEN DE AGUA DESALOJADA	cm3	115,6	
DRA = Msss / Vsss	DENSIDAD REAL DE LA ARENA	gr./cm3	2,568	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARENA				
M7	MASA DEL RECIPIENTE	gr.	32,0	31,3
M8	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA S.S.S.	gr.	83,8	86,0
M9 = M8 - M7	MASA DE LA MUESTRA S.S.S.	gr.	51,8	54,7
M10	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	gr.	83,2	85,3
M11 = M10 - M7	MASA DE LA MUESTRA SECA	gr.	51,2	54
CA = ((M9 - M11)/M11)*100	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	%	1,17	1,30
P2 = (CA1 + CA2) / 2	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO DEL ARENA	%	1,23	

Fuente: ORTEGA A. "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles". Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 46, Ambato, (2013).

CANTERA VILLACRÉS

Tabla 13: Resistencia al Desgaste – Prueba de los Ángeles Agregado Grueso (Cantera Villacrés)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.			
RESISTENCIA AL DESGASTE - PRUEBA DE LOS ÁNGELES AGREGADO GRUESO			
ORIGEN:	Cantera Villacrés		
ENSAYADO POR:	Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	18/01/2013
NORMA:	INEN 860		
ENUNCIADO	UNIDAD	M1	M2
PESO DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO	gr.	5000,0	5000,0
PESO MUESTRA DESPUÉS DEL ENSAYO RET. # 12	gr.	2899,7	2850,4
PESO MUESTRA PASA # 12	gr.	2100,3	2149,6
% DESGASTE	%	42,006	42,99
PROMEDIO	%	42,5	

Fuente: ORTEGA A. “La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles”. Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 47, Ambato, (2013).

PLANTA DE TRITURACIÓN DE ÁRIDOS CONSTRUCTORA ARIAS

**Tabla 14: Granulometría Agregado Grueso
(Planta de trituración de áridos Constructora Arias)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO					
ORIGEN:		Planta de Trituración de Áridos Constructora Arias			
PESO DE LA MUESTRA (gr.):		10000	PÉRDIDA DE MUESTRA (%)		0,2
ENSAYADO POR:		Egdo. Alberto Ortega	FECHA:		16/01/2013
NORMA:		INEN 696			
TAMIZ	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM % QUE PASA
2"	0,0	0,0	0,0	100,0	100
1 1/2"	375,5	375,5	3,8	96,2	95 --- 100
1"	1055,2	1430,7	14,3	85,7	-
3/4"	2532,8	3963,5	39,6	60,4	35 --- 70
1/2"	3225,3	7188,8	71,9	28,1	-
3/8"	1696,1	8884,9	88,8	11,2	10 --- 30
#4	940,2	9825,1	98,3	1,7	0 --- 5
BANDEJA	154,5	9979,6	99,8	-	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:			1"		

◆ LÍMITE SUPERIOR
 ■ LÍMITE INFERIOR
 ▲ % ACUMULADO

Fuente: ORTEGA A. "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles". Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 49, Ambato, (2013).

PLANTA DE TRITURACIÓN DE ÁRIDOS CONSTRUCTORA ARIAS

**Tabla 15: Granulometría Agregado Fino
(Planta de trituración de áridos Constructora Arias)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO					
ORIGEN:		Planta de Trituración de Áridos Constructora Arias			
PESO DE LA MUESTRA (gr.):		700	PÉRDIDA DE MUESTRA (%)		0,2
ENSAYADO POR:		Egdo. Alberto Ortega	FECHA:		14/01/2013
NORMA:		INEN 696			
TAMIZ	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM % QUE PASA
3/8"	0,0	0,0	0,0	100,0	100
#4	4,6	4,6	0,7	100,0	95 --- 100
#8	86	90,6	12,9	87,1	80 --- 100
#16	179,7	270,3	38,6	61,4	50 --- 85
#30	173,1	443,4	63,3	36,7	25 --- 60
#50	152,6	596,0	85,1	14,9	10 --- 30
#100	52,9	648,9	92,7	7,3	2 --- 10
#200	27,6	676,5	96,6	3,4	-
BANDEJA	22,0	698,5	99,8	-	-
MÓDULO DE FINURA			2,9		

El gráfico muestra la curva de granulometría del agregado fino. El eje horizontal representa la abertura del tamiz en milímetros (mm) en una escala logarítmica, con marcas principales en 0,01, 0,10, 1,00 y 10,00. El eje vertical representa el porcentaje que pasa, en una escala lineal de 0 a 100. Se muestran tres series de datos: el Límite Superior (línea azul con triángulos), el Límite Inferior (línea roja con cuadrados) y el porcentaje Acumulado (línea verde con triángulos). El módulo de finura es de 2,9.

Fuente: ORTEGA A. "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles". Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 50, Ambato, (2013).

PLANTA DE TRITURACIÓN DE ÁRIDOS CONSTRUCTORA ARIAS

**Tabla 16: Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso y Agregado Fino
(Planta de trituración de áridos Constructora Arias)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.				
PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Planta de Trituración de Áridos Constructora Arias			
ENSAYADO POR:	Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	05/01/2013	
NORMA:	INEN 858			
MASA RECIPIENTE (kg.):	9,90			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm3):	20,25			
AGREGADO	AGREGADO + RECIPIENTE (kg.)	AGREGADO (kg.)	PESO UNITARIO kg/dm3	PESO UNITARIO PROMEDIO kg/dm3
GRUESO	36,5	26,6	1,314	1,306
	36,2	26,3	1,299	
FINO	36,5	26,6	1,314	1,316
	36,6	26,7	1,319	

**Tabla 17: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso y Agregado Fino
(Planta de trituración de áridos Constructora Arias)**

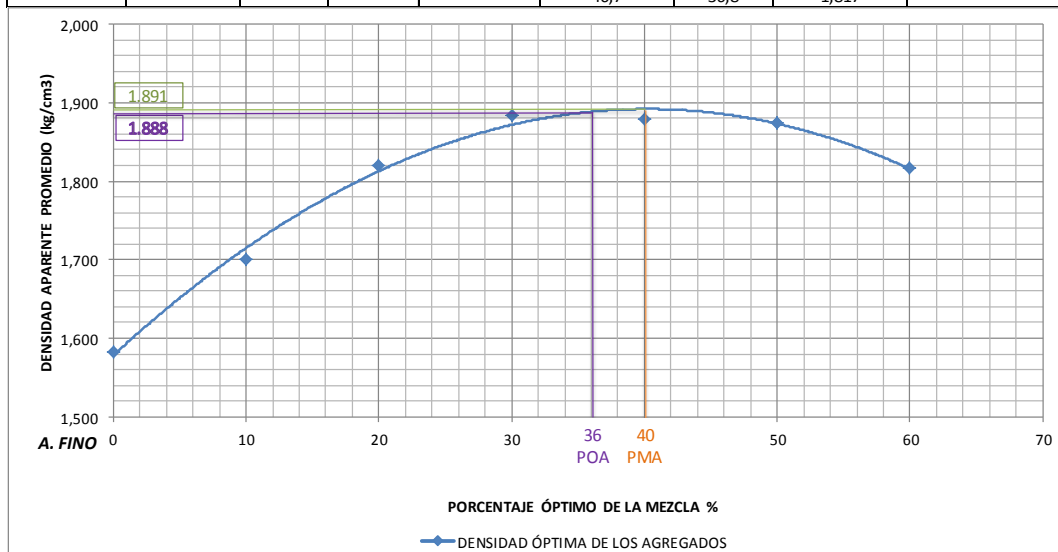
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.				
PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Planta de Trituración de Áridos Constructora Arias			
ENSAYADO POR:	Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	05/01/2013	
NORMA:	INEN 858			
MASA RECIPIENTE (kg.):	9,90			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm3):	20,25			
AGREGADO	AGREGADO + RECIPIENTE (kg.)	AGREGADO (kg.)	PESO UNITARIO	PESO UNITARIO
GRUESO	41,8	31,9	1,575	1,583
	42,1	32,2	1,590	
FINO	41,4	31,5	1,556	1,560
	41,6	31,7	1,565	

Fuente: ORTEGA A. "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles". Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 51, Ambato, (2013).

PLANTA DE TRITURACIÓN DE ÁRIDOS CONSTRUCTORA ARIAS

**Tabla 18: Peso Unitario Compactado de la Mezcla
(Planta de trituración de áridos Constructora Arias)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.								
PESO UNITARIO COMPACTADO DE LA MEZCLA								
ORIGEN:		Planta de Trituración de Áridos Constructora Arias						
ENSAYADO POR:		Egdo. Alberto Ortega			FECHA:		12/01/2013	
NORMA:		INEN 858						
MASA RECIPIENTE (kg.):		9,90						
VOLUMEN RECIPIENTE (dm3):		20,25						
% MEZCLA		CANTIDAD (kg.)		FINO AÑADIDO (kg.)	AGREGADO + RECIPIENTE (kg.)	AGREGADO (kg.)	PESO UNITARIO MEZCLA kg/dm3	PESO UNITARIO PROMEDIO kg/dm3
R	A	R	A	A	AGREGADO FINO + AGREGADO GRUESO			
100	0	40	0,00	0,00	41,8	31,9	1,575	1,583
					42,1	32,2	1,590	
90	10	40	4,44	4,44	44,3	34,4	1,699	1,701
					44,4	34,5	1,704	
80	20	40	10,00	5,56	47,0	37,1	1,832	1,820
					46,5	36,6	1,807	
70	30	40	17,14	7,14	48,5	38,6	1,906	1,884
					47,6	37,7	1,862	
60	40	40	26,67	9,53	47,8	37,9	1,872	1,879
					48,1	38,2	1,886	
50	50	40	40,00	13,33	47,9	38,0	1,877	1,874
					47,8	37,9	1,872	
40	60	40	60,00	20,00	46,7	36,8	1,817	1,817
					46,7	36,8	1,817	



PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO FINO	40 %
PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO GRUESO	60 %
PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO FINO	36 %
PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO GRUESO	64 %
PESO UNITARIO MÁXIMO	1,891 gr./cm3
PESO UNITARIO ÓPTIMO	1,888 gr./cm3

Fuente: ORTEGA A. "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles". Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 52, Ambato, (2013).

PLANTA DE TRITURACIÓN DE ÁRIDOS CONSTRUCTORA ARIAS

**Tabla 19: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso
(Planta de trituración de áridos Constructora Arias)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.			
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
ORIGEN:	Planta de Trituración de Áridos Constructora Arias		
ENSAYADO POR:	Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	19/01/2013
NORMA:	INEN 857		
DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR 1
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DEL RIPIO			
M1	MASA DE LA CANASTILLA EN EL AIRE	gr.	1795
M2	MASA DE LA CANASTILLA EN EL AGUA	gr.	1505
M3	MASA DE LA CANASTILLA + MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE	gr.	13520
M4	MASA DE LA CANASTILLA + MUESTRA S.S.S. EN EL AGUA	gr.	8740
DA	DENSIDAD REAL DEL AGUA	gr./cm ³	1,000
M5 = M3 - M1	MASA DE LA MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE	gr.	11725
M6 = M4 - M2	MASA DE LA MUESTRA S.S.S. EN EL AGUA	gr.	7235
VR = (M5-M6) / DA	VOLUMEN REAL DE LA MUESTRA	cm ³	4490
DR = M5 / VR	DENSIDAD REAL DEL RIPIO	gr./cm ³	2,611
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL RIPIO			
M7	MASA DEL RECIPIENTE	gr.	140,4 137,9
M8	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA S.S.S.	gr.	620,8 619,4
M9 = M8 - M7	MASA DE LA MUESTRA S.S.S.	gr.	480,4 481,5
M10	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	gr.	602,1 598,8
M11 = M10 - M7	MASA DE LA MUESTRA SECA	gr.	461,7 460,9
CA = ((M9 - M11)/M11)*100	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	%	4,050 4,470
P2 = (CA1 + CA2) / 2	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO DEL RIPIO	%	4,260

Fuente: ORTEGA A. “La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles”. Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 53, Ambato, (2013).

PLANTA DE TRITURACIÓN DE ÁRIDOS CONSTRUCTORA ARIAS

**Tabla 20: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino
(Planta de trituración de áridos Constructora Arias)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Planta de Trituración de Áridos Constructora Arias			
ENSAYADO POR:	Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	19/01/2013	
NORMA:	INEN 856			
DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR 1	
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DE LA ARENA				
M1	MASA DEL PICNÓMETRO	gr.	163,3	
M2	MASA DEL PICNÓMETRO + MUESTRA S.S.S.	gr.	377,8	
M3	MASA DEL PICNÓMETRO + MUESTRA S.S.S. + AGUA	gr.	793,2	
M4 = M3 - M2	MASA AGUA AÑADIDA	gr.	415,4	
M5	MASA PICNÓMETRO + 500 cm3 DE AGUA	gr.	659,9	
M6 = M5 - M1	MASA DE 500 cm3 DE AGUA	gr.	496,6	
DA = M6 / 500 cm3	DENSIDAD DEL AGUA	gr./cm3	0,993	
M7 = M6 - M4	MASA DE AGUA DESALOJADA POR LA MUESTRA	gr.	81,2	
Msss = M2 - M1	MASA DEL AGREGADO	gr.	214,5	
Vsss = M7 / DA	VOLUMEN DE AGUA DESALOJADA	cm3	81,8	
DRA = Msss / Vsss	DENSIDAD REAL DE LA ARENA	gr./cm3	2,624	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARENA				
M7	MASA DEL RECIPIENTE	gr.	31,7	32,2
M8	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA S.S.S.	gr.	75,8	79,6
M9 = M8 - M7	MASA DE LA MUESTRA S.S.S.	gr.	44,1	47,4
M10	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	gr.	75,2	79,1
M11 = M10 - M7	MASA DE LA MUESTRA SECA	gr.	43,5	46,9
CA = ((M9 - M11)/M11)*100	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	%	1,38	1,07
P2 = (CA1 + CA2) / 2	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO DEL ARENA	%	1,22	

Fuente: ORTEGA A. “La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles”. Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 54, Ambato, (2013).

PLANTA DE TRITURACIÓN DE ÁRIDOS CONSTRUCTORA ARIAS

**Tabla 21: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino
(Planta de trituración de áridos Constructora Arias)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.				
RESISTENCIA AL DESGASTE - PRUEBA DE LOS ÁNGELES AGREGADO GRUESO				
ORIGEN:	Planta de Trituración de Áridos Constructora Arias			
ENSAYADO POR:	Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	18/01/2013	
NORMA:	INEN 860			
ENUNCIADO		UNIDAD	M1	M2
PESO DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO		gr.	5000,0	5000,0
PESO MUESTRA DESPUÉS DEL ENSAYO RET. # 12		gr.	3055,1	3003,5
PESO MUESTRA PASA # 12		gr.	1944,9	1996,5
% DESGASTE		%	38,898	39,93
PROMEDIO		%	39,41	

Fuente: ORTEGA A. “La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles”. Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 55, Ambato, (2013).

CANTERA PLAYA LLAGCHOA

Tabla 22: Granulometría Agregado Grueso (Cantera Playa Llagchoa)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO					
ORIGEN:		Cantera Playa Llagchoa			
PESO DE LA MUESTRA (gr.):		10000	PÉRDIDA DE MUESTRA (%)	0,3	
ENSAYADO POR:		Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	15/01/2013	
NORMA:		INEN 696			
TAMIZ	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM % QUE PASA
2"	0,0	0,0	0,0	100,0	100
1 1/2"	90,3	90,3	0,9	99,1	95 --- 100
1"	1535,4	1625,7	16,3	83,7	-
3/4"	2473,3	4099,0	41,0	59,0	35 --- 70
1/2"	2546,6	6645,6	66,5	33,5	-
3/8"	2400,3	9045,9	90,5	9,5	10 --- 30
#4	774,2	9820,1	98,2	1,8	0 --- 5
BANDEJA	154,2	9974,3	99,7	-	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:			1 1/2"		

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

1,00

10,00

100,00

ABERTURA TAMIZ (mm)

—◆— LÍMITE SUPERIOR
—■— LÍMITE INFERIOR
—▲— %ACUMULADO

Fuente: ORTEGA A. "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles". Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 57, Ambato, (2013).

CANTERA PLAYA LLAGCHOA

Tabla 23: Granulometría Agregado Fino (Cantera Playa Llagchoa)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO					
ORIGEN:		Cantera Playa Llagchoa			
PESO DE LA MUESTRA (gr.):		700	PÉRDIDA DE MUESTRA (%)		0,4
ENSAYADO POR:		Egdo. Alberto Ortega	FECHA:		15/01/2013
NORMA:		INEN 696			
TAMIZ	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr.)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ASTM % QUE PASA
3/8"	0,0	0,0	0,0	100,0	100
#4	27,3	27,3	3,9	96,1	95 --- 100
#8	96,7	124,0	17,7	82,3	80 --- 100
#16	102,8	226,8	32,4	67,6	50 --- 85
#30	108,0	334,8	47,8	52,2	25 --- 60
#50	141,5	476,3	68,0	32,0	10 --- 30
#100	143,6	619,9	88,6	11,4	2 --- 10
#200	50,3	670,2	95,7	4,3	-
BANDEJA	27,2	697,4	99,6	-	-
MÓDULO DE FINURA			2,5		

Abertura Tamiz (mm)	Límite Superior (%)	Límite Inferior (%)	% Acumulado (%)
0,075	10,0	2,0	10,0
0,15	30,0	10,0	30,0
0,3	60,0	25,0	50,0
0,6	85,0	50,0	68,0
1,2	96,1	82,3	82,3
2,5	100,0	96,1	96,1
5,0	100,0	99,6	99,6
10,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: ORTEGA A. “La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles”. Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 58, Ambato, (2013).

CANTERA PLAYA LLAGCHOA

**Tabla 24: Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso y Fino
(Cantera Playa Llagchoa)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.				
PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Cantera Playa Llagchoa			
ENSAYADO POR:	Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	12/01/2013	
NORMA:	INEN 858			
MASA RECIPIENTE (kg.):	9,90			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm3):	20,25			
AGREGADO	AGREGADO + RECIPIENTE (kg.)	AGREGADO (kg.)	PESO UNITARIO kg/dm3	PESO UNITARIO PROMEDIO kg/dm3
GRUESO	37,9	28,0	1,383	1,395
	38,4	28,5	1,407	
FINO	36,0	26,1	1,289	1,306
	36,7	26,8	1,323	

**Tabla 25: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso y Agregado Fino
(Cantera Playa Llagchoa)**

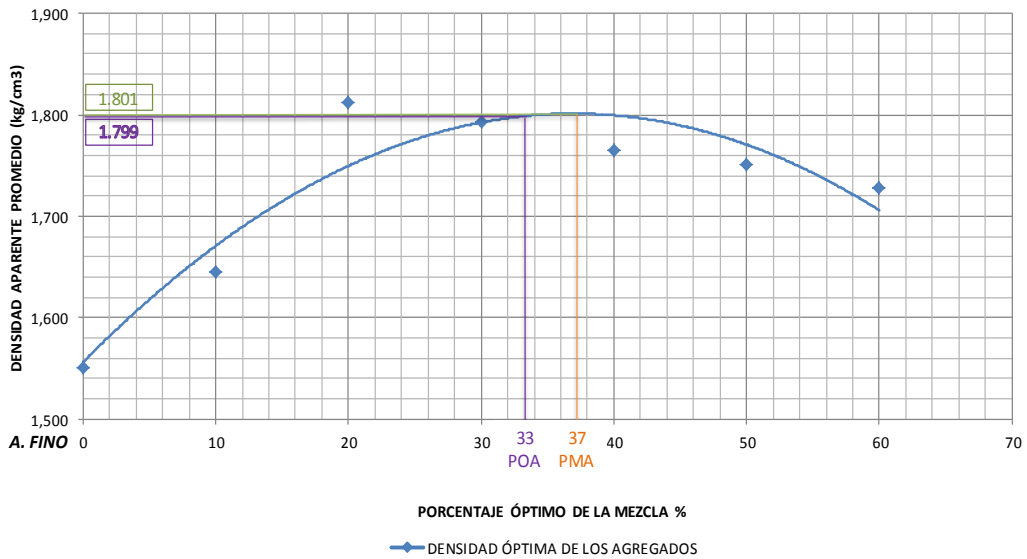
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.				
PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Cantera Playa Llagchoa			
ENSAYADO POR:	Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	12/01/2013	
NORMA:	INEN 858			
MASA RECIPIENTE (kg.):	9,90			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm3):	20,25			
AGREGADO	AGREGADO + RECIPIENTE (kg.)	AGREGADO (kg.)	PESO UNITARIO	PESO UNITARIO
GRUESO	41,3	31,4	1,551	1,551
	41,3	31,4	1,551	
FINO	40,8	30,9	1,526	1,531
	41,0	31,1	1,536	

Fuente: ORTEGA A. "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles". Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 59, Ambato, (2013).

CANTERA PLAYA LLAGCHOA

Tabla 26: Peso Unitario Compactado de la Mezcla (Cantera Playa Llagchoa)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.								
PESO UNITARIO COMPACTADO DE LA MEZCLA								
ORIGEN:		Cantera Playa Llagchoa						
ENSAYADO POR:		Egdo. Alberto Ortega			FECHA:		12/01/2013	
NORMA:		INEN 858						
MASA RECIPIENTE (kg.):		9,90						
VOLUMEN RECIPIENTE (dm3):		20,25						
% MEZCLA		CANTIDAD (kg.)		FINO AÑADIDO (kg.)	AGREGADO + RECIPIENTE (kg.)	AGREGADO (kg.)	PESO UNITARIO MEZCLA kg/dm3	PESO UNITARIO PROMEDIO kg/dm3
R	A	R	A	A	AGREGADO FINO + AGREGADO GRUESO			
100	0	40	0,00	0,00	41,3	31,4	1,551	1,551
					41,3	31,4	1,551	
90	10	40	4,44	4,44	43,4	33,5	1,654	1,644
					43,0	33,1	1,635	
80	20	40	10,00	5,56	46,4	36,5	1,802	1,812
					46,8	36,9	1,822	
70	30	40	17,14	7,14	46,2	36,3	1,793	1,793
					46,2	36,3	1,793	
60	40	40	26,67	9,53	45,6	35,7	1,763	1,765
					45,7	35,8	1,768	
50	50	40	40,00	13,33	45,3	35,4	1,748	1,751
					45,4	35,5	1,753	
40	60	40	60,00	20,00	45,0	35,1	1,733	1,728
					44,8	34,9	1,723	



PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO FINO	37 %
PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO GRUESO	63 %
PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO FINO	33 %
PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO GRUESO	67 %
PESO UNITARIO MÁXIMO	1,801 gr./cm3
PESO UNITARIO ÓPTIMO	1,799 gr./cm3

Fuente: ORTEGA A. "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles". Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 60, Ambato, (2013).

CANTERA PLAYA LLAGCHOA

**Tabla 27: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso
(Cantera Playa Llagchoa)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
ORIGEN:	Cantera Playa Llagchoa			
ENSAYADO POR:	Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	19/01/2013	
NORMA:	INEN 857			
DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR 1	
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DEL RIPIO				
M1	MASA DE LA CANASTILLA EN EL AIRE	gr.	1795	
M2	MASA DE LA CANASTILLA EN EL AGUA	gr.	1501	
M3	MASA DE LA CANASTILLA + MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE	gr.	11139	
M4	MASA DE LA CANASTILLA + MUESTRA S.S.S. EN EL AGUA	gr.	7186	
DA	DENSIDAD REAL DEL AGUA	gr./cm ³	1,000	
M5 = M3 - M1	MASA DE LA MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE	gr.	9344	
M6 = M4 - M2	MASA DE LA MUESTRA S.S.S. EN EL AGUA	gr.	5685	
VR = (M5-M6) / DA	VOLUMEN REAL DE LA MUESTRA	cm ³	3659	
DR = M5 / VR	DENSIDAD REAL DEL RIPIO	gr./cm ³	2,554	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL RIPIO				
M7	MASA DEL RECIPIENTE	gr.	145,5	143,2
M8	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA S.S.S.	gr.	628,1	617,3
M9 = M8 - M7	MASA DE LA MUESTRA S.S.S.	gr.	482,6	474,1
M10	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	gr.	615,9	601,3
M11 = M10 - M7	MASA DE LA MUESTRA SECA	gr.	470,4	458,1
CA = ((M9 - M11)/M11)*100	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	%	2,59	3,49
P2 = (CA1 + CA2) / 2	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO DEL RIPIO	%	3,04	

Fuente: ORTEGA A. "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles". Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 61, Ambato, (2013).

CANTERA PLAYA LLAGCHOA

**Tabla 28: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino
(Cantera Playa Llagchoa)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Cantera Playa Llagchoa			
ENSAYADO POR:	Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	19/01/2013	
NORMA:	INEN 856			
DATO	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	VALOR 1	
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DE LA ARENA				
M1	MASA DEL PICNÓMETRO	gr.	163,3	
M2	MASA DEL PICNÓMETRO + MUESTRA S.S.S.	gr.	457,2	
M3	MASA DEL PICNÓMETRO + MUESTRA S.S.S. + AGUA	gr.	837,6	
M4 = M3 - M2	MASA AGUA AÑADIDA	gr.	380,4	
M5	MASA PICNÓMETRO + 500 cm ³ DE AGUA	gr.	659,9	
M6 = M5 - M1	MASA DE 500 cm ³ DE AGUA	gr.	496,6	
DA = M6 / 500 cm³	DENSIDAD DEL AGUA	gr./cm ³	0,993	
M7 = M6 - M4	MASA DE AGUA DESALOJADA POR LA MUESTRA	gr.	116,2	
Msss = M2 - M1	MASA DEL AGREGADO	gr.	293,9	
Vsss = M7 / DA	VOLUMEN DE AGUA DESALOJADA	cm ³	117,0	
DRA = Msss / Vsss	DENSIDAD REAL DE LA ARENA	gr./cm ³	2,512	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARENA				
M7	MASA DEL RECIPIENTE	gr.	33,1	32,8
M8	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA S.S.S.	gr.	88,4	80,1
M9 = M8 - M7	MASA DE LA MUESTRA S.S.S.	gr.	55,3	47,3
M10	MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	gr.	88,2	79,7
M11 = M10 - M7	MASA DE LA MUESTRA SECA	gr.	55,1	46,9
CA = ((M9 - M11)/M11)*100	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	%	0,36	0,85
P2 = (CA1 + CA2) / 2	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO DEL ARENA	%	0,61	

Fuente: ORTEGA A. "La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles". Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 62, Ambato, (2013).

CANTERA PLAYA LLAGCHOA

Tabla 29: Resistencia al Desgaste – Prueba de los Ángeles Agregado Grueso (Cantera Playa Llagchoa)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.				
RESISTENCIA AL DESGASTE - PRUEBA DE LOS ÁNGELES AGREGADO GRUESO				
ORIGEN:	Cantera Playa Llagchoa			
ENSAYADO POR:	Egdo. Alberto Ortega	FECHA:	18/01/2013	
NORMA:	INEN 860			
ENUNCIADO	UNIDAD	M1	M2	
PESO DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO	gr.	5000,0	5000,0	
PESO MUESTRA DESPUÉS DEL ENSAYO RET. # 12	gr.	2985,7	2978,7	
PESO MUESTRA PASA # 12	gr.	2014,3	2021,3	
% DESGASTE	%	40,286	40,43	
PROMEDIO	%	40,4		

Fuente: ORTEGA A. “La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles”. Tesis de Grado de la FICM-UTA, pp. 63, Ambato, (2013).

4.1.1.3 Ensayos en el Cemento

Tabla 30: Densidad Real del Cemento

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.				
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO				
ORIGEN:	CEMENTO TIPO IP			
ENSAYADO POR:	Egdo. Jorge Sánchez	FECHA:	10/05/2013	
DATOS	CORRESPONDENCIA	UNIDAD	M1	M2
M1	MASA DEL PICNÓMETRO	gr.	161,2	163,3
M2	MASA DEL PICNÓMETRO + CEMENTO	gr.	341,5	337,9
M3	MASA DEL PICNÓMETRO + CEMENTO + GASOLINA	gr.	665	663,1
M4 = M3 - M2	MASA GASOLINA AÑADIDA	gr.	323,5	325,2
M5	MASA DEL PICNÓMETRO + 500 cm ³ GASOLINA	gr.	528,4	530,3
M6 = M5 - M1	MASA 500 cm ³ GASOLINA	gr.	367,2	367
DG = M6 / 500	DENSIDAD DE LA GASOLINA	gr./cm ³	0,734	0,734
M7 = M6 - M4	MASA GASOLINA DESALOJADA POR EL CEMENTO	gr.	43,7	41,8
MC = M2 - M1	MASA DE CEMENTO	gr.	180,3	174,6
VG = M7 / DG	VOLUMEN DE GASOLINA DESALOJADA	cm ³	59,50	56,95
DRC = MC/VG	DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	gr./cm ³	3,030	3,066
P = (DRC1 + DRC2) / 2	DENSIDAD REAL PROMEDIO DEL CEMENTO	gr./cm ³	3,048	

4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS

4.2.1 Interpretación de Datos de los Ensayos Realizados en los Agregados

Con los ensayos de laboratorio realizados para la tesis del Ing. Alberto Ortega de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica con el tema: “**La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles**”, se obtuvo valores que corresponden a sus propiedades mecánicas, que al compararlos con los especificados en la norma respectiva, dan cumplimiento los límites admisibles y por lo tanto aptos para la elaboración de hormigones.

Tabla 31: Resultados de las Diferentes Canteras

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.				
AGREGADO GRUESO (RIPIO)				
PROPIEDAD MECÁNICA	UNIDAD	CANTERA VILLACRÉS	PLANTA DE TRITURACIÓN DE ÁRIDOS CONSTRUCTORA ARIAS	CANTERA PLAYA LLAGCHOA
Tamaño Nominal Máximo	plg.	1 1/2"	1 "	1 1/2"
Peso Unitario Suelto	gr./cm ³	1.382	1.306	1.395
Peso Unitario Compactado	gr./cm ³	1.558	1.583	1.551
Peso Específico	gr./cm ³	2.585	2.611	2.554
Capacidad de Absorción	%	3.64	426	3.04
Resistencia al Desgaste - Abrasión	%	42.5	39.4	40.4
AGREGADO FINO (ARENA)				
Módulo de Finura	-	3.0	2.9	2.5
Peso Unitario Suelto	gr./cm ³	1.326	1.316	1.306
Peso Unitario Compactado	gr./cm ³	1.565	1.560	1.531
Peso Específico	gr./cm ³	2.568	2.624	2.512
Capacidad de Absorción	%	1.23	1.22	0.61
MEZCLA DE LOS AGREGADOS				
Peso Unitario Máximo	gr./cm ³	1.893	1.891	1.801
Peso Unitario Óptimo	gr./cm ³	1.890	1.888	1.799
Porcentaje Óptimo de Ripio	%	61	64	67
Porcentaje Óptimo de Arena	%	39	36	33

Fuente: ORTEGA A. “La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles”. Tesis de Grado de la UTA, pp. 48,56, 64 Ambato, (2013).

4.2.2 Interpretación de Datos de los Ensayos Realizados en el Cemento

Con el ensayo de determinación de la densidad real del cemento propuesto en la Norma NTE INEN 156:09 2R método del picnómetro, se obtuvo valores que corresponden al cemento TIPO IP, siendo acorde para la ejecución de hormigones.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

De los ensayos realizados a los agregados de las canteras en estudio, es notable la diferencia entre sus propiedades mecánicas, siendo estas primordiales para la resistencia del hormigón y por ende para el Módulo de Elasticidad Estático, lo cual será comprobado mediante los ensayos de laboratorio para la elaboración de la propuesta en el capítulo VI.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó en la tesis del Ing. Alberto Ortega “La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles” que las tres canteras en estudio cumplen con las densidades de los agregados, según lo establecido en la norma NTE INEN 0856:2010 para agregado fino y NTE INEN 0857:2010 para el agregado grueso, siendo uno de los principales indicativos de la resistencia a compresión del hormigón. Para esta investigación se ha determinado trabajar con los agregados de la cantera “Playa Llagchoa”, ya que tienen las densidades más críticas y además un tamaño nominal alto que es un indicativo para las deformaciones del hormigón.

- Se concluye que para este proyecto de investigación se realizarán hormigones de resistencia de 210, 240, y 280 Kg/cm², ya que son los más comunes y también los más utilizados a nivel de construcciones en nuestro sector, asimismo se determinó realizar hormigones con asentamiento comprendido entre (6-9) cm, ya que son utilizados para los principales elementos estructurales.

- Los hormigones serán dosificados con el método desarrollado de la Universidad Central del Ecuador

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para la ejecución de los ensayos los agregados a utilizarse, antes de proceder a ensayarlos, se debe realizar una limpieza ya que estos tienen impurezas que pueden afectar a las propiedades de los mismos.
- Implantar conciencia en el público consumidor de los daños que podrían darse en todos los elementos estructurales y no estructurales por la utilización de materiales de baja calidad, utilizando materiales de mejores características, ya que el costo estaría compensado con la seguridad.
- Se recomienda la utilización de los agregados con densidad específica más crítica de las tres canteras, para determinar el valor del Módulo de Elasticidad estático crítico para nuestra ciudad.
- De ser necesario el uso de aditivos en mezclas que utilicen estos agregados, es recomendable considerar las alteraciones que éstos tendrán en la dosificación, preparación y puesta en obra del hormigón, además se debe tener un control del contenido de humedad para mantener la relación agua cemento constante y obtener las resistencias especificadas.
- El control de calidad del hormigón no solo debe estar enfocado a alcanzar la resistencia especificada a los 28 días, se debe también orientar en la determinación del módulo de elasticidad estático.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

“DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f'c = 210, 240, 280 \text{ Kg/cm}^2$) FABRICADO CON AGREGADOS DE LA CANTERA PLAYA LLAGCHOA DEL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

6.1 DATOS INFORMATIVOS

6.1.1 Cantera Playa Llagchoa

La cantera Playa Llagchoa distribuye material pétreo a la ciudad de Ambato, se encuentra ubicado en el kilómetro 7, vía Miraflores, en las Coordenadas - 1.279744,-78.689484.

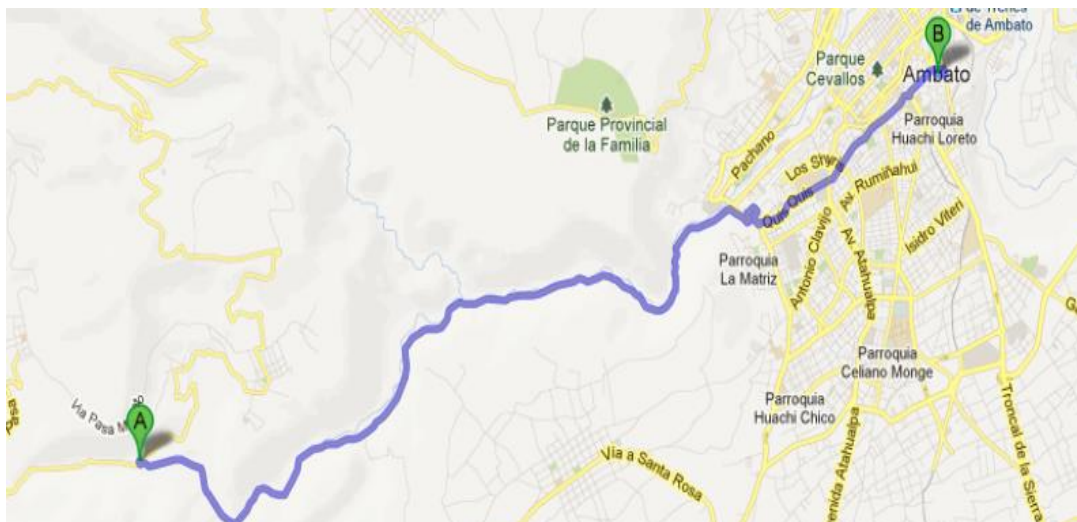


Gráfico 8: Ubicación Cantera Playa Llagchoa (A)

Fuente: <http://maps.google.com.ec/maps>

El tipo de explotación es a cielo abierto, aproximadamente distribuye un volumen de 280 m³ diario y mensualmente entre 7000 a 9000 m³.

La Cantera Playa Llagchoa es propiedad de la Familia Salvador y lleva funcionando alrededor de 15 años, explotan y procesan material pétreo como arena y ripio los cuales son clasificados por Zarandeo Mecánico y Trituradora, es decir que tienen un proceso de mejoramiento basado en trituración (árido grueso).

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Tomado como referencia a **Ocaña Jorge (2012)** en su tesis de grado “Estudio del Módulo de elasticidad estático del hormigón en base a la resistencia a la compresión ($f'_c = 21, 28 \text{ Mpa}$) fabricado con material de la mina de Pintag.” Establece que “Debido a las características geológicas propias de nuestro país, no es posible la aplicación directa de las ecuaciones propuestas por el ACI para la obtención del Módulo Estático de Elasticidad de los hormigones. Existen diferencias que se deben principalmente a la calidad de los granulados, la cual influye directamente en la resistencia de los hormigones.”

Serrano María (2010) en su tesis de grado “Análisis de sensibilidad para estimar el módulo de elasticidad estático del concreto” expresa que “ Se obtuvieron las resistencias características cercanas a las resistencias especificadas de 21 y 28MPa, pero el módulo estático de elasticidad experimental es un poco menor con respecto al teórico, esto se debe a la calidad de los agregados, en especial al agregado grueso, el cual presenta una elevada porosidad que se evidencia por su alta capacidad de absorción y baja densidad, que hacen que el hormigón tenga mayor deformación bajo la acción de una carga axial.”

Fausto Villegas (2008) en su tesis de grado “Módulos de Elasticidad y curvas de esfuerzo deformación, en base a la compresión del hormigón a 21, 28, 35 MPA” Siendo el hormigón un material variable en cuanto a resistencia, y siendo el Módulo Estático de Elasticidad la medida de su rigidez, este valor también va a ser variable, resultando importante determinar la variable que influye en este

Módulo de Elasticidad, para lo cual se realizaron ensayos de compresión a la edad de 28 días en probetas cilíndricas de hormigón fabricadas con los materiales pétreos de la procedencia Pifo con cada una de las condiciones que nos impusimos para esta investigación: en los cuales se registraron valores de carga y deformación, los cuales en condición de esfuerzo unitario y deformación específica, en donde se determinó el Módulo Estático de Elasticidad siguiendo el procedimiento de la norma ASTM C 469.

6.3 JUSTIFICACIÓN

La proyección del tema de tesis está sustentada principalmente en base a programas de ensayo en laboratorio, a fin de determinar valores confiables del Módulo Estático de Elasticidad, acordes a la realidad de nuestros agregados.

El módulo de elasticidad es un parámetro muy importante en el análisis de las estructuras de concreto ya que se emplea en el cálculo de la rigidez de los elementos estructurales, en algunos lugares como en la ciudad de México y a raíz de los terremotos de 1985, se han hecho cambios en el Reglamento de Construcciones, estos cambios demandan valores mínimos para el módulo de elasticidad dependiendo del tipo de concreto que se emplee en la obra, por lo tanto ahora, además de la resistencia a la compresión se debe garantizar el Módulo de Elasticidad Estático (E_c) que algunos calculistas tienen la tendencia a suponer, para lo cual emplean fórmulas sugeridas por diversas instituciones, por ejemplo el Comité ACI-318, pero que son formulas aplicadas para diferentes tipos de agregados de los que podemos encontrar en nuestra zona.

Los valores obtenidos en esta tesis de investigación ayudarán tanto a los estudiantes como a profesionales ya que se conocerá el valor del Módulo de Elasticidad Estático para los agregados de la mina en estudio, siendo estos los valores críticos para la ciudad de Ambato.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 Objetivo General

Determinar el Módulo de Elasticidad Estático del hormigón en base a la Resistencia a la Compresión, fabricado con agregados de la cantera Playa Llagchoa en el cantón de Ambato, provincia de Tungurahua.

6.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar la comparación entre los valores del Módulo de Elasticidad Estático del hormigón propuesto por el comité ACI 318 y ACI 363 y los resultados obtenidos a través de esta investigación realizada con agregados locales.
- Establecer la curva esfuerzo-deformación del hormigón.
- Realizar una curva del Esfuerzo del hormigón en función del tiempo.
- Determinar una curva de relación entre el Módulo de Elasticidad y la Resistencia a la Compresión del hormigón.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La investigación que se realiza con los agregados de la cantera Playa Llagchoa, es determinar el Módulo de Elasticidad estático, siendo este una de las propiedades más significativas del hormigón.

El Módulo de Elasticidad Estático del Hormigón (E_c) es una propiedad muy importante en el diseño de estructuras de hormigón armado, ya que está presente en los principales cálculos de estructuras de este tipo, como podemos citar; en el pre dimensionamiento de elementos estructurales, rigideces, así como también para el análisis de deformaciones. Para el caso particular de rigideces $K = \frac{4 E_c l}{L}$, en este análisis el valor de E_c se encuentra en el numerador de la ecuación, de tal manera que influye en forma directamente proporcional al de la rigidez, caso contrario ocurre en las deformaciones, como por ejemplo en vigas simplemente apoyadas con una carga uniformemente distribuida, cuya ecuación es $\Delta I = \frac{5 P L^4}{384 E_c l}$, como podemos observar el valor de (E_c) está en el denominador de forma inversamente proporcional a la deformación.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

6.6.1 Dosificación de Hormigones según el método de la Universidad Central del Ecuador

Para la dosificación de hormigones de resistencia de 210, 240 y 280 kg/cm², en esta investigación se utilizará el método desarrollado por la Universidad Central del Ecuador.

Datos requeridos para la dosificación:

- Resistencia a compresión (f'_c)
- Asentamiento Requerido
- Densidad Real del Cemento (DRC)
- Densidad Real de la Arena (DRA)

- Densidad Real del Ripio (DRR)
- Porcentaje Óptimo de Arena (POA)
- Porcentaje Óptimo de Ripio (POR)
- Densidad Óptima de la Mezcla de Agregados (DOMAg)
- Porcentaje de Aire en el Hormigón

PROCEDIMIENTO:

1. Densidad Real del Agregado (DRAg)

$$DRAg = (DRA * POA) + (DRR * POR)$$

2. Porcentaje Óptimo de Vacios

$$POV = \frac{DRAg - DOMAg}{DRAg} * 100$$

3. Cantidad de Pasta (CP)

$$CP = k * POV$$

Donde (*k*) es una constante en función del asentamiento requerido de acuerdo a la siguiente tabla 30.

Tabla 32: Valor de constante (k) según el asentamiento requerido para dosificación método de la Universidad Central del Ecuador

Asentamiento (cm)	k
0 - 3	1,04
3 - 6	1,08
6 - 9	1,11
9 - 12	1,13
12 - 15	1,14

Fuente: GARZÓN, M., *Seminario de Graduación, “Investigación sobre el Módulo de Elasticidad del Hormigón”, Universidad Central del Ecuador, p. 46-A, Quito, (2006)*

4. Relación Agua / Cemento

Esta dada en función de la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de edad. ($f'c$) según la tabla 31.

Tabla 33: Relación Agua / Cemento para dosificación método de la Universidad Central del Ecuador

Resistencia a la Compresión del Hormigón ($f'c$) EN kg/cm^2	w / c
140	0,77
180	0,70
210	0,62
240	0,59
280	0,56
350	0,45

Fuente: GARZÓN, M., Seminario de Graduación, "Investigación sobre el Módulo de Elasticidad del Hormigón", Universidad Central del Ecuador, p. 46-A, Quito, (2006)

5. Cantidad de Cemento (C)

$$C = \frac{CP}{(w/c) + \frac{1}{DRC}}$$

6. Cantidad de Agua (W)

$$W = (w/c) * (C)$$

7. Cantidad de Arena (A)

$$A = (1000 - CP - \% AIRE) * DRA * POA$$

8. Cantidad de Ripio (R)

$$R = (1000 - CP - \% AIRE) * DRR * POR$$

9. Resultado

Finalmente se obtiene las cantidades de material necesarias para la dosificación de un metro cúbico de hormigón mediante el método de la Universidad Central del Ecuador.

Se resumirán los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 34: Dosificación al Peso mediante el método de la Universidad Central del Ecuador

Material	W	C	A	R
Cantidad en Kg por cada m3 de hormigón				
Dosificación al Peso				

Fuente: MEDINA, Santiago “Ensayo de Materiales II”

6.6.2 Trabajabilidad

“Una mezcla es trabajable cuando en estado fresco, el hormigón puede ser transportado sin que se separen los componentes, y una vez colocado llega a envolver completamente las armaduras, llenando todos los huecos, sin dejar oquedades, y facilidad para eliminar los agujeros o poros de su masa.”²³

La trabajabilidad depende de:

- La cantidad de agua de amasado.
- La granulometría de los agregados.
- La forma de los agregados, ya que la docilidad es mayor para áridos redondeados que para los procedentes de machaqueo.
- La cantidad de cemento, en vista que la docilidad aumenta con la cantidad de cemento.
- La docilidad puede aumentarse mediante el empleo de plastificantes.

²³ OCAÑA, Jorge en su tesis: “Estudio del módulo de elasticidad estático del hormigón en base a la resistencia a la compresión, fabricado con material de la mina de pintag”

6.6.3 Homogeneidad

“Es la propiedad por la cual, los diferentes componentes del hormigón se presentan regularmente distribuidos en toda la masa, de manera tal que, dos muestras tomadas de distintos lugares del mismo volumen resulten iguales.

La masa de hormigón debe ser homogénea, para lo cual, la mezcla debe efectuarse lo mejor posible, y se cuidará que durante el transporte, no se produzcan segregaciones de los agregados gruesos.”²⁴

La homogeneidad puede permitirse por:

- La segregación que no es más, que la separación de los agregados gruesos y finos.
- La decantación, sudado o exudación, es una forma de segregación que es cuando los agregados gruesos caen al fondo y el mortero queda en la superficie del hormigón recién colocado, se lo conoce también como ganancia de agua y resulta de la incapacidad de los materiales constitutivos para almacenar toda el agua del mezclado.

“Para conseguir la homogeneidad es necesario un buen amasado haciendo una mezcla trabajable con una mínima cantidad de agua, un mayor contenido de cemento y arenas naturales que tengan un adecuado porcentaje de finos, para mantenerse, se requiere de un transporte cuidadoso y una colocación adecuada.”²⁵

6.6.4 Consistencia del hormigón

“La consistencia se determina según lo establecido en la norma NTE INEN 1 578:2010 mediante el asentamiento en el cono de Abrams, en la cual “una muestra de hormigón recién mezclado se coloca en tres capas dentro de un molde con forma de un cono truncado y se compacta con una varilla de punta redonda

²⁴ <http://personales.upv.es/fbardisa/Pdf/Consistencia%20del%20hormig%C3%B3n.PDF>

²⁵ <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=homogeneidad%20del%20hormigon%20fresco>

con 25 golpes en cada capa. Se levanta el molde permitiendo que el hormigón se asiente. Se mide la distancia vertical entre la altura original y la del centro desplazado de la superficie superior del hormigón, como se indica en el Gráfico 9, luego se lee su deformación. Este valor se reporta como el asentamiento del hormigón”²⁶,

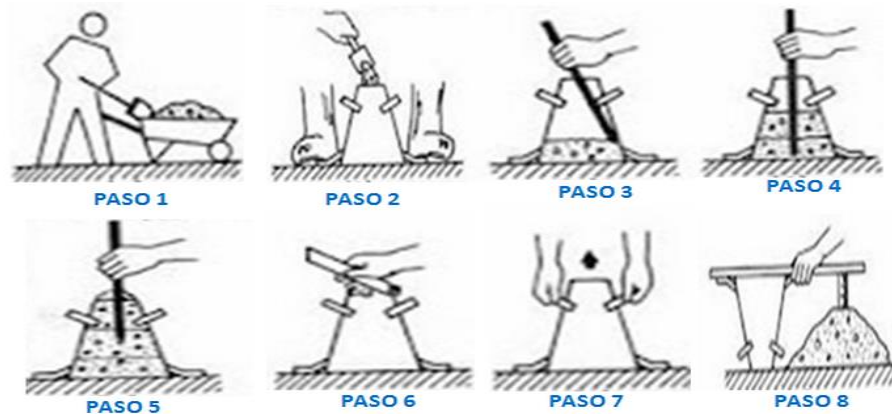


Gráfico 9: Determinación del Asentamiento

Fuente: <http://2.bp.blogspot.com/ asentamiento+de+concreto.png>

6.6.5 Elaboración y Curado de probetas

“Las dimensiones de las probetas de hormigón deben cumplir con que la longitud debe ser el doble del diámetro y el diámetro del cilindro debe ser por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del árido grueso, por lo tanto en nuestro caso se utilizaron probetas estándar de:

Altura = 300 mm

Diámetro = 150 mm

Son las medidas utilizadas cuando se realiza la toma de muestras testigo y son las que se establecen en la norma ASTM C-192 o en la norma NTE INEN 1 576, Práctica para fabricar y curar probetas cilíndricas de hormigón en el Laboratorio”²⁷

a.-) Toma de Muestras

²⁶ Norma NTE INEN 1 578:2010

²⁷ Norma NTE INEN 1 576

“Moldear los especímenes lo más rápido posible, sobre una superficie rígida y nivelada, libre de vibraciones y otras perturbaciones, en un lugar tan cercano como sea posible al lugar donde van a ser almacenados”²⁸, hace que las probetas no se estropeen y al momento de ensayarlas obtener valores lo más cercano a lo esperado.

“Como señala la Norma NTE INEN 1 576: 2011, para la toma de muestras cilíndricas se debe utilizar moldes metálicos, que no permitan el desalojo del hormigón ni la pérdida de agua, los mismos que deben ser llenados en tres capas, cada capa compactada con una varilla de punta redonda con una longitud de 400 a 600 mm y con el diámetro establecido en la tabla 33, con un número de 25 golpes, además se deberá golpear de 10 a 15 veces a los lados del cilindro, en cada capa, con un martillo de goma, estos golpes tienen como único propósito cerrar cualquier agujero dejado por la varilla y eliminar cualquier burbuja grande de aire que hubiere sido atrapada.”²⁹

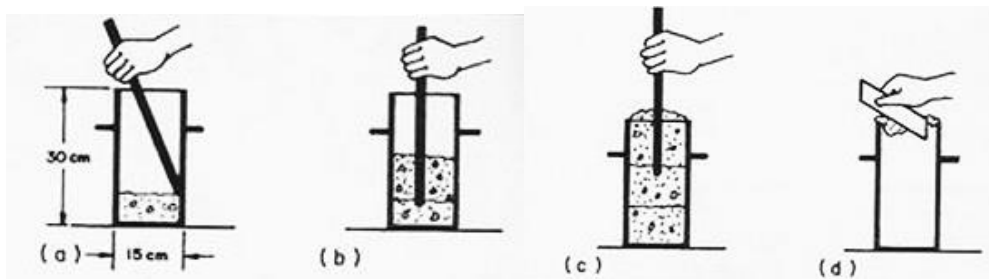


Gráfico 10: Toma de muestras

Fuente: <https://lh6.googleusercontent.com/s1600/1.jpg>

Después de golpear, igualar cada capa de hormigón a lo largo de los lados y bordes del molde retirando el exceso.

Tabla 35: Requisitos para el diámetro de la varilla de compactación

Diámetro del cilindro (mm)	Diámetro de la varilla (mm)
< 150	10 ± 2
≥ 150	16 ± 2

Fuente: Norma NTE INEN 1 576, pp 59.

²⁸ Norma NTE INEN 1 576: 2011

²⁹ NTE INEN 1 576: 2011

b.-) Curado del hormigón

“Después de 24 horas desencoframos los moldes, los especímenes deben ser almacenados en la cámara de curado, sumergidos totalmente en agua, como lo indica en la Norma NTE INEN 1 576³⁰, hasta la utilización de las probetas para los ensayos.”



Gráfico 11: Cámara de Curado

6.6.6 Densidad del Hormigón fresco

El método de ensayo para la determinación de la densidad del hormigón fresco se describe en la Norma NTE INEN 1579:2013, “en la cual primero determinamos la masa neta del hormigón, restando la del recipiente, de la masa del recipiente lleno con hormigón”³¹, y con estos datos calculamos la densidad con la siguiente expresión:

$$D = \frac{Mc - Mm}{Vm}$$

Dónde:

D = Densidad del hormigón (kg/m³)

Mc = Masa del recipiente lleno con hormigón (kg)

Mm = Masa del recipiente (kg)

Vm = Volumen del recipiente (m³)

³⁰ Norma NTE INEN 1 576

³¹ Norma NTE INEN 1579:2013

6.6.7 Densidad del Hormigón endurecido

“Es la cantidad de peso por unidad de volumen. Variará con la clase de áridos y con la forma de colocación en obra, por lo tanto para la determinación de la densidad del hormigón endurecido se utilizará la formula dada por la Norma NTE INEN 1 573: 2010 en el literal 4.5.3”³², que se plantea a continuación:

$$D = \frac{W}{V}$$

Dónde:

D = Densidad del hormigón (kg/m³)

W = Masa del hormigón (saturado superficie seca) (kg)

V = Volumen del hormigón (m³)

6.6.8 Resistencia a la Compresión del hormigón

En la presente investigación se planteó hacer los ensayos a compresión simple a diferentes edades, de 7, 14, 21 y 28 días; con un número de tres cilindros por cada edad, para determinar la curva tiempo vs. resistencia.

“Una vez que los cilindros se retiremos de la cámara de humedad, se toma un mínimo de tres lecturas del diámetro en la cabeza del cilindro, este proceso nos sirve para evaluar la resistencia del hormigón, como lo establece en la Norma NTE INEN 1 573:2010, además respecto a la máquina universal, se puede utilizar cualquier tipo de máquina de ensayo capaz de imponer una carga a la velocidad constante, de tal manera que no aparezca otra variable en nuestra investigación.”³³

La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal del espécimen, como se indica a continuación:

³² Norma NTE INEN 1 573: 2010

³³ Norma NTE INEN 1 573:2010

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dónde:

σ = Resistencia a la compresión (kg/cm²)

P = Carga (kg)

A = Área (cm²)

Además los datos se presentarán de la siguiente manera:

Tabla 36: Compresión de Cilindros

PROBETA N°	DIÁMETRO cm	ÁREA cm ²	CARGA Kg	RESISTENCIA		EDAD días	FECHA	
				Mpa	(%)		Elab.	Ensayo
PROMEDIO								

6.6.9 Módulo de Elasticidad Estático Experimental del Hormigón

Según lo establecido en la norma ASTM C459-02, este método proporciona una relación entre el esfuerzo y su deformación unitaria, para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado,

Además para la determinación experimental del módulo de elasticidad estático se distinguirán las siguientes definiciones:

“Módulo tangente: Es la pendiente de la recta tangente a la curva esfuerzo deformación, en cualquier punto de ella.”³⁴

$$E_c = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$$

“Módulo tangente inicial: Es el valor de la pendiente de la tangente en el origen de la curva. Corresponde a un esfuerzo nulo.”³⁵

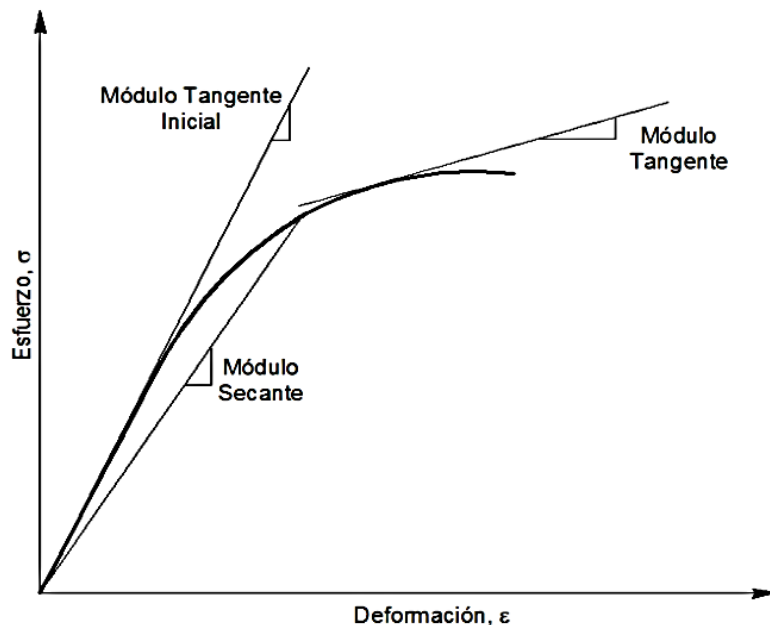
³⁴ <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/modulo-de-elasticidad-del-hormigon.html>

³⁵ http://www.demecanica.com/Consultas/E10_EstCons.htm

“Módulo secante: Es la pendiente de la recta secante a la curva, que une el origen con otro cualquiera de la curva.”³⁶

$$E_c = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Tabla 37: Módulo tangente, tangente inicial y secante del hormigón



Fuente: <http://www.demecanica.com/Consultas/images/ModDefor1.jpg>

“El módulo de elasticidad estático, aplicable dentro de los rangos de esfuerzos de trabajo acostumbrados son del 0,00005 de deformación unitaria a 40% de la resistencia última del concreto, son usados para el dimensionamiento de elementos reforzados o no reforzados, para establecer la cantidad de refuerzo y para calcular los esfuerzos para las deformaciones unitarias observadas.

Los valores de módulo de elasticidad obtenidos usualmente serán menores a los módulos obtenidos bajo una aplicación de carga rápida (por ejemplo a velocidades dinámicas o sísmicas) y serán más grandes que los valores bajo aplicación de carga lenta o de mayor duración, siempre que otras condiciones de ensayo sean las mismas.”³⁷

³⁶ <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/modulo-de-elasticidad-del-hormigon.html>

³⁷ Norma ASTM C469-02

“Para medir las variaciones de deformación por compresión, se acoplará a la probeta estándar de hormigón un sistema que consta de dos anillos, uno superior y otro inferior los mismos que se aseguran a la probeta llamado compresómetro.

El compresómetro es un dispositivo que se adapta a los cilindros de prueba y sirven para medir su deformación, axial y transversal, bajo la aplicación de la carga. Su empleo no se recomienda hasta la rotura.

El anillo inferior permanecerá fijo, mientras que el anillo superior es el que gira en un pivote o eje, conforme se comprime el hormigón. En él un extremo de los dos anillos se va a colocar un sistema de apoyo mientras que el otro extremo va acoplado al dial, el mismo que tienen una sensibilidad de 0.00010 plg.

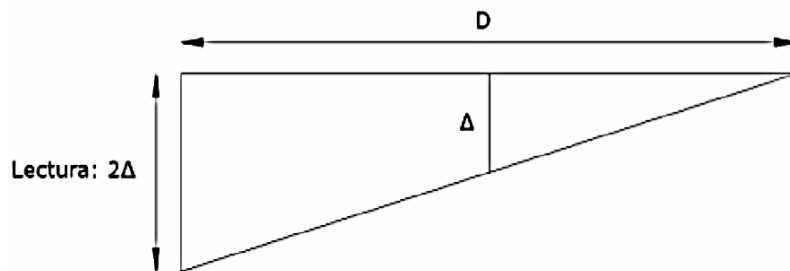
La longitud efectiva de cada línea de medida no será menor de tres veces el tamaño máximo del agregado del hormigón, y no mayor a dos tercios de la altura de la muestra, es conveniente que esta longitud de medición sea de un medio de la altura de la muestra. Para cilindros de 15 cm x 30 cm utilizados en esta investigación, esta longitud de medición debe ser de 15 cm a 20 cm. Para nuestro caso la longitud de medición será de 15 cm.

Los anillos deben ser rígidos; de preferencia metálicos y estar separados entre sí mediante un pivote para mantener una distancia constante entre ellos. Los anillos deben contar con dos barras separadoras que permitan centrarlos perfectamente al cilindro y conservar esta separación fija. Cada anillo debe tener como mínimo 3 tornillos de punta, para poder centrar y sujetar perfectamente al espécimen y evitar deslizamientos. Uno de los anillos debe estar rígidamente sujeto a la muestra que permita la sujeción del compresómetro empleado para registrar las deformaciones longitudinales, y el otro estar sujeto en dos puntos diametralmente opuestos, de manera que puede rotar libremente.”³⁸

³⁸ Norma ASTM C469-02

“Por efectos de montaje del aparato del dial de deformaciones nos da lecturas igual al doble de la deformación verdadera de la probeta, lo cual es ventajoso para mayor sensibilidad de las lecturas, ya que la deformación de necesitaremos será en el eje de la probeta, además este ensayo se debe tener la precaución de retirar el equipo (anillos) antes de la carga de rotura para precautelar daños en el equipo.”³⁹

Gráfico 12: Diagrama de desplazamiento



$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L_0}$$

$$\Delta = \frac{\text{Lectura}}{2}$$

$$\varepsilon = \frac{\text{Lectura } 1 \times 10^{-4} \text{ pulg}}{2 \times L_0}$$

Dónde:

ε : Deformación específica.

Δ : Deformación al eje axial de la muestra.

L_0 : Longitud inicial de medida (150mm).

“Para proceder a realizar el ensayo se debe mantener la temperatura, y la humedad del ambiente lo más constantes que sea posible, durante el ensayo.

Se usan tres de los especímenes de ensayo, para determinar la resistencia a compresión de acuerdo con el método de ensayo en la Norma ASTM C 39 /C 39M, previo a realizar el ensayo del módulo de elasticidad, con el objetivo de conocer un estimado de la carga de rotura.”⁴⁰

³⁹ Norma ASTM C469-02

⁴⁰ Norma ASTM C469-02

“Colocaremos el espécimen de ensayo, con el equipo de medición de deformación instalado, en la platina o bloque de apoyo inferior de la máquina de ensayo.

Cuidadosamente alinear el eje del espécimen con el centro de la rótula del cabezal superior de apoyo. A medida que el bloque superior de apoyo se lleva lentamente a asentarse sobre el espécimen, rote la parte móvil del bloque suavemente hasta que se obtenga un apoyo uniforme.

Se deberá cargar el espécimen por lo menos dos veces, no registrar datos durante la primera carga, con el objeto de saber si el compresómetro está instalado correctamente.

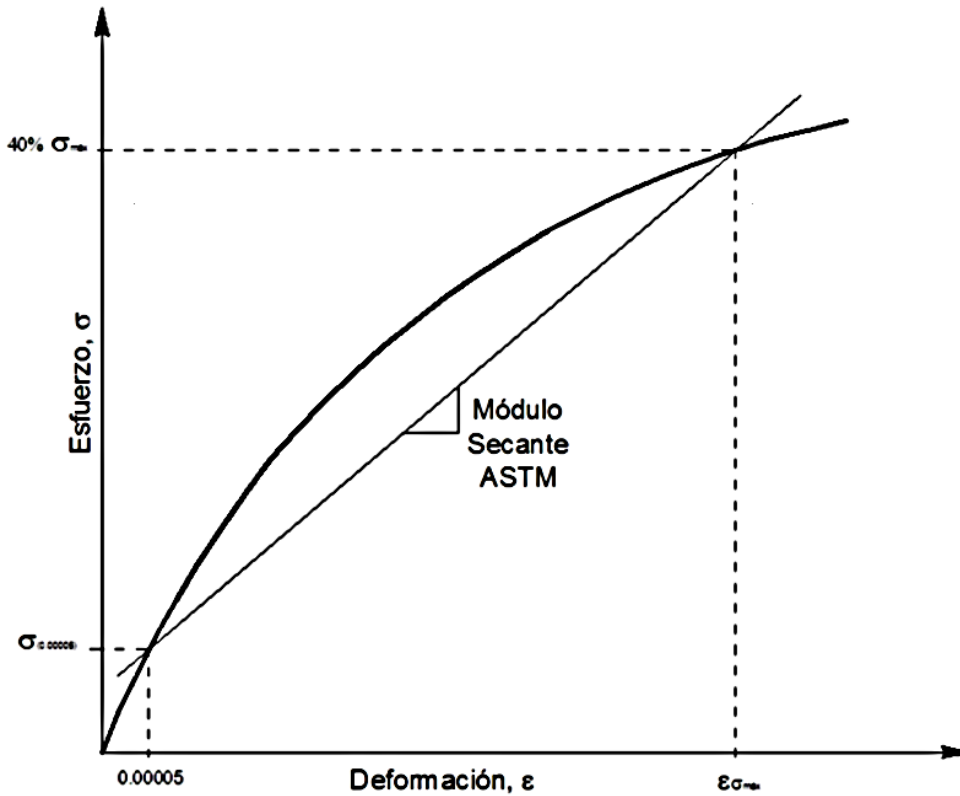
Se permite obtener el módulo de elasticidad y la resistencia en el mismo ciclo de carga, cuando los compresómetros sean desechables, removibles, o adecuadamente protegidos para que se pueda cumplir con los requisitos para carga continua dados en el método de ensayo de la Norma ASTM C 39/C 39M.

En este caso registrar varias lecturas y determinar por interpolación el valor de la deformación unitaria al 40% de la carga última.

El módulo de elasticidad será la pendiente de la línea que une los puntos de la curva, correspondientes a una deformación unitaria de 0.00005 y al 40% de la carga máxima.”⁴¹

⁴¹ Norma ASTM C469-02

Gráfico 13: Módulo secante del hormigón según la ASTM



Fuente: <http://www.demecanica.com/Consultas/images/ModDeform1.jpg>

Los valores de módulo de elasticidad estático experimental se determinarán con una aproximación de 344.74 Mpa (50,000 psi) de la siguiente manera:

$$E_c = \frac{0,40\sigma_{\text{máx}} - \sigma(0,00005)}{\varepsilon 0,40\sigma_{\text{máx}} - 0,00005}$$

Dónde.

E_c : Módulo de elasticidad del hormigón.

$\sigma_{\text{máx}}$: Esfuerzo de rotura.

$\sigma(0.00005)$: Esfuerzo conforme a una deformación unitaria de 0.00005.

$\varepsilon 0.4 \zeta_{\text{máx}}$: Deformación conforme al 40 por ciento del esfuerzo de rotura.

6.6.10 Determinación del Módulo de Elasticidad Estático del hormigón según el Comité ACI 318S-05

El Comité *ACI 318S-05* en el capítulo 8, para el cálculo del Módulo Estático de Elasticidad, enuncia en el numeral 8.5.1, lo siguiente:

“El Módulo de elasticidad E_c para el hormigón puede tomarse como $wc^{1.5} \times 0,043 \sqrt{f'c}$, en MPa, para valores de wc comprendidos entre 1500 y 2500 Kg/m³. Para hormigones de masa normal, E_c puede considerarse como $4700 \sqrt{f'c}$, en (MPa).”⁴²

Entonces para nuestra investigación se utilizará la fórmula $4700 \sqrt{f'c}$, en (MPa), para hormigones de masa normal.

6.6.11 Determinación del Módulo de Elasticidad Estático del hormigón según el Comité ACI 363R-92.

El Comité *ACI 363R-92* en el capítulo 5, para el cálculo del Módulo Estático de Elasticidad, enuncia en la página 23, lo siguiente:

“Para el cálculo del módulo de elasticidad se puede usar la siguiente expresión:

$$E_c = 3320 \sqrt{f'c} + 6900 \quad (MPa)”⁴³$$

Esta última expresión fue propuesta por: Russell, Sausier y Pfeiffer, siendo una ecuación empírica, por lo cual no se le considera como una estricta norma, más bien como un parámetro de comparación con la expresión del *ACI 318S-05*

⁴²Código *ACI 318S-05*

⁴³Código *ACI 363R-92*

6.7 METODOLOGÍA

6.7.1 Dosificación de Hormigón para Agregados de la Cantera Playa Llagchoa.

Tabla 38: Dosificación para un hormigón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL						
ORIGEN:	Cantera Playa Llagchoa			FECHA:	25/04/2013	
REALIZADO POR:	Egdo. Jorge Luis Sánchez			DATOS DE TABLAS		
DATOS DE ENSAYOS			% Aire (dm3)		20	
$f'c$	210	kg/cm ²	(w/c)		0,62	
Asentamiento	6 - 9	cm	(k)		1,11	
DRC	3,045	gr./cm ³	CÁLCULOS			
DRA	2,512	gr./cm ³	PEM	2,540	kg./dm ³	
DRR	2,554	gr./cm ³	POV	29,177	%	
DSA	1,306	gr./cm ³	CP	323,866	dm ³	
DSR	1,395	gr./cm ³	C	341,484	kg.	
POA	33	%	W	211,720	lts.	
POR	67	%	A	543,909	kg.	
PUOM	1,799	gr./cm ³	R	1122,763	kg.	
DOSIFICACIÓN AL PESO						
MATERIAL	CANTIDAD EN (KG) POR CADA M3 DE HORMIGÓN		DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN (KG) POR SACO DE CEMENTO DE 50kg.		
W	211,720		0,62	31,00		
C	341,484		1,00	50,00		
A	543,909		1,59	79,64		
R	1122,763		3,29	164,39		
TOTAL	2219,876		kg./dm ³ Densidad del Hormigón			
DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN						
MATERIAL	PESO UNITARIO SUELTO (Kg./dm ³)	VOLUMEN APARENTE EN (dm ³) POR m ³	VOLUMEN APARENTE EN (dm ³) POR SACO DE CEMENTO	DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN EN OBRA PARA UN SACO CEM.		
W	-	211,720	31,00	31,00	lts.	
C	-	341,484	50,00	1	saco	
A	1,306	416,469	60,98	2,26	parihuelas	
R	1,395	804,848	117,85	4,36	parihuelas	
VOLUMEN REAL DEL HORMIGÓN			259,82	dm³ c/saco		
DIMENSIONES DE PARIHUELA: B = L = H = 3.00 dm			VOLUMEN PARIHUELA	27,00	dm ³	
NOMENCLATURA						
DRC	Densidad Real del Cemento		PUOM	Peso Unitario Óptimo Mezcla		
DRA	Densidad Real de la Arena		PEM	Peso Especifico de la Mezcla		
DRR	Densidad Real del Ripio		POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos		
DSA	Densidad Suelta de Arena		CP	Cantidad de Pasta		
DSR	Densidad Suelta de Ripio		C	Cantidad de Cemento		
POA	Porcentaje Óptimo Arena		W	Cantidad de Agua		
POR	Porcentaje Óptimo Ripio		A	Cantidad de Arena		
w/c	Relación Agua/Cemento		R	Cantidad de Ripio		
k	Factor de Corrección de Asentamiento					

Tabla 39: Dosificación para un hormigón de $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL					
ORIGEN:	Cantera Playa Llagchoa		FECHA:	25/04/2013	
REALIZADO POR	Egdo. Jorge Luis Sánchez		DATOS DE TABLAS		
DATOS DE ENSAYOS			% Aire (dm3)	20	
$f'c$	240	kg/cm2	(w/c)	0,59	
Asentamiento	6 - 9	cm	(k)	1,11	
DRC	3,045	gr./cm3	CÁLCULOS		
DRA	2,512	gr./cm3	PEM	2,540	kg./dm3
DRR	2,554	gr./cm3	POV	29,177	%
DSA	1,306	gr./cm3	CP	323,866	dm3
DSR	1,395	gr./cm3	C	352,639	kg.
POA	33	%	W	208,057	lts.
POR	67	%	A	543,909	kg.
PUOM	1,799	gr./cm3	R	1122,763	kg.
DOSIFICACIÓN AL PESO					
MATERIAL	CANTIDAD EN (KG) POR CADA M3 DE HORMIGÓN		DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN (KG) POR SACO DE CEMENTO DE 50kg.	
W	208,057		0,59	29,50	
C	352,639		1,00	50,00	
A	543,909		1,54	77,12	
R	1122,763		3,18	159,19	
TOTAL	2227,368		kg./dm3 Densidad del Hormigón		
DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN					
MATERIAL	PESO UNITARIO SUELTO	VOLUMEN APARENTE EN (dm3) POR m3	VOLUMEN APARENTE EN (dm3) POR SACO DE CEMENTO	DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN EN OBRA PARA UN SACO CEM.	
W	-	208,057	29,50	29,50	lts.
C	-	352,639	50,00	1	saco
A	1,306	416,469	59,05	2,19	parihuelas
R	1,395	804,848	114,12	4,23	parihuelas
VOLUMEN REAL DEL HORMIGÓN			252,67	dm3 c/saco	
DIMENSIONES DE PARIHUELA: B = L = H = 3.00 dm			VOLUMEN PARIHUELA	27,00	dm3
NOMENCLATURA					
DRC	Densidad Real del Cemento		PUOM	Peso Unitario Óptimo Mezcla	
DRA	Densidad Real de la Arena		PEM	Peso Específico de la Mezcla	
DRR	Densidad Real del Ripio		POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos	
DSA	Densidad Suelta de Arena		CP	Cantidad de Pasta	
DSR	Densidad Suelta de Ripio		C	Cantidad de Cemento	
POA	Porcentaje Óptimo Arena		W	Cantidad de Agua	
POR	Porcentaje Óptimo Ripio		A	Cantidad de Arena	
w/c	Relación Agua/Cemento		R	Cantidad de Ripio	
k	Factor de Corrección de Asentamiento				

Tabla 40: Dosificación para un hormigón de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL					
ORIGEN:	Cantera Playa Llagchoa		FECHA:	25/04/2013	
REALIZADO POR:	Egdo. Jorge Luis Sánchez		DATOS DE TABLAS		
DATOS DE ENSAYOS			% Aire (dm3)	20	
$f'c$	280	kg/cm ²	(w/c)	0,56	
Asentamiento	6 - 9	cm	(k)	1,11	
DRC	3,045	gr./cm ³	CÁLCULOS		
DRA	2,512	gr./cm ³	PEM	2,540	kg./dm ³
DRR	2,554	gr./cm ³	POV	29,177	%
DSA	1,306	gr./cm ³	CP	323,866	dm ³
DSR	1,395	gr./cm ³	C	364,547	kg.
POA	33	%	W	204,146	lts.
POR	67	%	A	543,909	kg.
PUOM	1,799	gr./cm ³	R	1122,763	kg.
DOSIFICACIÓN AL PESO					
MATERIAL	CANTIDAD EN (KG) POR CADA M3 DE HORMIGÓN		DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN (KG) POR SACO DE CEMENTO DE 50kg.	
W	204,146		0,56	28,00	
C	364,547		1,00	50,00	
A	543,909		1,49	74,60	
R	1122,763		3,08	153,99	
TOTAL	2235,365		kg./dm ³ Densidad del Hormigón		
DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN					
MATERIAL	PESO UNITARIO SUELTO (Kg./dm ³)	VOLUMEN APARENTE EN (dm ³) POR m ³	VOLUMEN APARENTE EN (dm ³) POR SACO DE CEMENTO	DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN EN OBRA PARA UN SACO CEM.	
W	-	204,146	28,00	28,00	lts.
C	-	364,547	50,00	1	saco
A	1,306	416,469	57,12	2,12	parihuelas
R	1,395	804,848	110,39	4,09	parihuelas
VOLUMEN REAL DEL HORMIGÓN			245,51	dm ³ c/saco	
DIMENSIONES DE PARIHUELA: B = L = H = 3.00 dm			VOLUMEN PARIHUELA	27,00	dm ³
NOMENCLATURA					
DRC	Densidad Real del Cemento		PUOM	Peso Unitario Óptimo Mezcla	
DRA	Densidad Real de la Arena		PEM	Peso Especifico de la Mezcla	
DRR	Densidad Real del Ripio		POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos	
DSA	Densidad Suelta de Arena		CP	Cantidad de Pasta	
DSR	Densidad Suelta de Ripio		C	Cantidad de Cemento	
POA	Porcentaje Óptimo Arena		W	Cantidad de Agua	
POR	Porcentaje Óptimo Ripio		A	Cantidad de Arena	
w/c	Relación Agua/Cemento		R	Cantidad de Ripio	
k	Factor de Corrección de Asentamiento				

6.7.2 Determinación de las propiedades del hormigón fresco

6.7.2.1 Trabajabilidad, homogeneidad y consistencia del hormigón fresco de 210, 240 y 280 kg/cm²

Tabla 41: Trabajabilidad, homogeneidad y consistencia del hormigón fresco de 210, 240 y 280 kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		
REALIZADO POR:	Egdo. Jorge Luis Sánchez		
FECHA ENSAYO:	MAYO DEL 2013		
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-578		
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO			
ESFUERZO kg/cm²	TRABAJABILIDAD	HOMOGENEIDAD	CONSISTENCIA (cm)
210	BUENA	MUY BUENA	7
240	BUENA	MUY BUENA	8
280	BUENA	MUY BUENA	6

6.7.2.2 Propiedades del hormigón fresco: $f'c$ 210kg/cm²: Densidad

Tabla 42: Densidad del hormigón fresco de 210 kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		ESFUERZO:	210 kg/cm ²	
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ		VOLUMEN MOLDE:	0,00544 m ³	
FECHA ENSAYO:	29 DE MAYO DEL 2013				
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-579				
DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRESCO					
PROBETA N°	MOLDES VACIOS (Kg)	MOLDES LLENOS (Kg)	MASA HORMIGÓN (Kg)	MASA PROMEDIO	DENSIDAD HORMIGÓN (Kg/m ³)
1	11,4	23,3	11,9	12,10	2225,04
2	9,8	21,8	12,0		
3	11,4	23,3	11,9		
4	11,5	22,6	11,1		
5	11,4	23,6	12,2		
6	11,3	23,4	12,1		
7	11,4	23,4	12,0		
8	9,8	21,9	12,1		
9	11,4	23,6	12,2		
10	9,7	21,7	12,0		
11	11,3	23,3	12,0		
12	11,3	23,5	12,2		
13	11,5	23,5	12,0		
14	11,4	23,5	12,1		
15	9,8	21,8	12,0		
16	11,4	23,5	12,1		
17	11,5	23,9	12,4		
18	11,4	23,8	12,4		
19	11,4	23,8	12,4		
20	11,6	23,9	12,3		
21	11,4	23,7	12,3		
22	11,3	23,7	12,4		
23	11,4	23,8	12,4		
24	11,6	23,6	12,0		

6.7.2.3 Propiedades del hormigón fresco: $f'c$ 240kg/cm²: Densidad

Tabla 43: Densidad del hormigón fresco de 240kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		ESFUERZO:	240 kg/cm ²	
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ		VOLUMEN MOLDE:	0,00544 m ³	
FECHA ENSAYO:	30 DE MAYO DEL 2013				
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-579				
DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRESCO					
PROBETA N°	MOLDES VACIOS (Kg)	MOLDES LLENOS (Kg)	MASA HORMIGÓN (Kg)	MASA PROMEDIO	DENSIDAD HORMIGÓN (Kg/m ³)
1	11,3	23,5	12,2	12,27	2255,51
2	11,5	23,8	12,3		
3	11,4	23,5	12,1		
4	11,5	23,8	12,3		
5	9,9	22,2	12,3		
6	11,3	23,6	12,3		
7	11,4	23,6	12,2		
8	11,3	23,7	12,4		
9	9,8	22,2	12,4		
10	11,4	23,9	12,5		
11	11,3	23,4	12,1		
12	11,3	23,6	12,3		
13	11,5	23,6	12,1		
14	9,8	21,9	12,1		
15	11,3	23,5	12,2		
16	11,4	23,6	12,2		
17	11,5	23,8	12,3		
18	11,4	23,8	12,4		
19	11,3	23,8	12,5		
20	11,5	23,9	12,4		
21	11,4	23,7	12,3		
22	9,8	22,1	12,3		
23	11,3	23,5	12,2		
24	11,5	23,7	12,2		

6.7.2.4 Propiedades del hormigón fresco: $f'c$ 280kg/cm²: Densidad

Tabla 44: Densidad del hormigón fresco de 280 kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		ESFUERZO:	280 kg/cm ²	
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ		VOLUMEN MOLDE:	0,00544 m ³	
FECHA ENSAYO:	31 DE MAYO DEL 2013				
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-579				
DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRESCO					
PROBETA N°	MOLDES VACIOS (Kg)	MOLDES LLENOS (Kg)	MASA HORMIGÓN (Kg)	MASA PROMEDIO	DENSIDAD HORMIGÓN (Kg/m ³)
1	11,4	23,8	12,4	12,51	2300,09
2	9,8	22,5	12,7		
3	11,4	23,7	12,3		
4	11,4	23,8	12,4		
5	11,6	24,1	12,5		
6	11,5	23,9	12,4		
7	9,8	22,5	12,7		
8	9,9	22,5	12,6		
9	11,3	23,9	12,6		
10	11,3	23,9	12,6		
11	11,5	24,2	12,7		
12	11,4	23,9	12,5		
13	11,3	23,8	12,5		
14	9,9	22,4	12,5		
15	11,4	23,8	12,4		
16	11,4	23,7	12,3		
17	11,3	23,8	12,5		
18	11,4	23,8	12,4		
19	11,5	23,8	12,3		
20	11,5	23,9	12,4		
21	11,4	24,0	12,6		
22	11,3	24,1	12,8		
23	11,3	23,8	12,5		
24	9,8	22,5	12,7		

6.7.3 Propiedades del hormigón endurecido

El estado de humedad de las muestras cilíndricas es saturado superficie seca

6.7.3.1 Densidad del hormigón endurecido de 210 kg/cm²

Tabla 45: Densidad del hormigón endurecido de 210 kg/cm² edad 7 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES						
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		ESFUERZO: 210 kg/cm ²			
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ		ALTURA CILINDRO: 0,3 m			
FECHA ENSAYO:	5 DE JUNIO DEL 2013		EDAD: 7 días			
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-573					
DENSIDAD DEL HORMIGÓN ENDURECIDO						
PROBETA N°	DIÁMETRO (m)	ÁREA (m ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA HORMIGÓN (Kg)	DENSIDAD HORMIGÓN (Kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO DEL HORMIGÓN (Kg/m ³)
17	0,151	0,0179	0,0054	12,2	2270,88	2290,64
18	0,150	0,0177	0,0053	12,2	2301,26	
21	0,149	0,0174	0,0052	12,2	2332,26	
22	0,148	0,0172	0,0052	11,8	2286,37	
23	0,150	0,0177	0,0053	12,0	2263,54	
24	0,151	0,0179	0,0054	12,3	2289,50	

Tabla 46: Densidad del hormigón endurecido de 210 kg/cm² edad 14 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES						
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		ESFUERZO: 210 kg/cm ²			
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ		ALTURA CILINDRO: 0,3 m			
FECHA ENSAYO:	12 DE JUNIO DEL 2013		EDAD: 14 días			
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-573					
DENSIDAD DEL HORMIGÓN ENDURECIDO						
PROBETA N°	DIÁMETRO (m)	ÁREA (m ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA HORMIGÓN (Kg)	DENSIDAD HORMIGÓN (Kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO DEL HORMIGÓN (Kg/m ³)
13	0,149	0,0174	0,0052	12,0	2294,02	2293,79
14	0,149	0,0174	0,0052	12,0	2294,02	
15	0,150	0,0177	0,0053	12,0	2263,54	
16	0,151	0,0179	0,0054	12,2	2270,88	
19	0,150	0,0177	0,0053	12,2	2301,26	
20	0,150	0,0177	0,0053	12,4	2338,99	

Tabla 47: Densidad del hormigón endurecido de 210 kg/cm² edad 21 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES						
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		ESFUERZO: 210 kg/cm ²			
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ		ALTURA CILINDRO: 0,3 m			
FECHA ENSAYO:	19 DE JUNIO DEL 2013		EDAD: 21 días			
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-573					
DENSIDAD DEL HORMIGÓN ENDURECIDO						
PROBETA N°	DIÁMETRO (m)	ÁREA (m ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA HORMIGÓN (Kg)	DENSIDAD HORMIGÓN (Kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO DEL HORMIGÓN (Kg/m ³)
1	0,152	0,0181	0,0054	12,3	2259,47	2281,25
2	0,151	0,0179	0,0054	12,2	2270,88	
5	0,152	0,0181	0,0054	12,3	2259,47	
6	0,151	0,0179	0,0054	12,1	2252,27	
9	0,149	0,0174	0,0052	12,1	2313,14	
10	0,149	0,0174	0,0052	12,2	2332,26	

Tabla 48: Densidad del hormigón endurecido de 210 kg/cm² edad 28 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES						
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		ESFUERZO: 210 kg/cm ²			
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ		ALTURA CILINDRO: 0,3 m			
FECHA ENSAYO:	26 DE JUNIO DEL 2013		EDAD: 28 días			
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-573					
DENSIDAD DEL HORMIGÓN ENDURECIDO						
PROBETA N°	DIÁMETRO (m)	ÁREA (m ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA HORMIGÓN (Kg)	DENSIDAD HORMIGÓN (Kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO DEL HORMIGÓN (Kg/m ³)
3	0,151	0,0179	0,0054	12,4	2308,11	2296,47
4	0,150	0,0177	0,0053	12,2	2301,26	
7	0,151	0,0179	0,0054	12,4	2308,11	
8	0,152	0,0181	0,0054	12,4	2277,84	
11	0,151	0,0179	0,0054	12,3	2289,50	
12	0,149	0,0174	0,0052	12,0	2294,02	

6.7.3.2 Densidad del hormigón endurecido de 240 kg/cm²

Tabla 49: Densidad del hormigón endurecido de 240 kg/cm² edad 7 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES						
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		ESFUERZO: 240 kg/cm ²			
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ		ALTURA CILINDRO: 0,3 m			
FECHA ENSAYO:	6 DE JUNIO DEL 2013		EDAD: 7 días			
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-573					
DENSIDAD DEL HORMIGÓN ENDURECIDO						
PROBETA N°	DIÁMETRO (m)	ÁREA (m ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA HORMIGÓN (Kg)	DENSIDAD HORMIGÓN (Kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO DEL HORMIGÓN (Kg/m ³)
18	0,149	0,0174	0,0052	12,2	2332,26	2307,76
19	0,151	0,0179	0,0054	12,3	2289,50	
21	0,150	0,0177	0,0053	12,2	2301,26	
22	0,150	0,0177	0,0053	12,2	2301,26	
23	0,151	0,0179	0,0054	12,2	2270,88	
24	0,149	0,0174	0,0052	12,3	2351,37	

Tabla 50: Densidad del hormigón endurecido de 240 kg/cm² edad 14 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES						
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		ESFUERZO: 240 kg/cm ²			
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ		ALTURA CILINDRO: 0,3 m			
FECHA ENSAYO:	13 DE JUNIO DEL 2013		EDAD: 14 días			
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-573					
DENSIDAD DEL HORMIGÓN ENDURECIDO						
PROBETA N°	DIÁMETRO (m)	ÁREA (m ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA HORMIGÓN (Kg)	DENSIDAD HORMIGÓN (Kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO DEL HORMIGÓN (Kg/m ³)
1	0,151	0,0179	0,0054	12,4	2308,11	2308,97
2	0,151	0,0179	0,0054	12,5	2326,72	
3	0,151	0,0179	0,0054	12,4	2308,11	
4	0,151	0,0179	0,0054	12,3	2289,50	
7	0,150	0,0177	0,0053	12,2	2301,26	
8	0,150	0,0177	0,0053	12,3	2320,13	

Tabla 51: Densidad del hormigón endurecido de 240 kg/cm² edad 21 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES						
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		ESFUERZO: 240 kg/cm ²			
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ		ALTURA CILINDRO: 0,3 m			
FECHA ENSAYO:	20 DE JUNIO DEL 2013		EDAD: 21 días			
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-573					
DENSIDAD DEL HORMIGÓN ENDURECIDO						
PROBETA N°	DIÁMETRO (m)	ÁREA (m ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA HORMIGÓN (Kg)	DENSIDAD HORMIGÓN (Kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO DEL HORMIGÓN (Kg/m ³)
5	0,150	0,0177	0,0053	12,3	2320,13	2316,99
6	0,150	0,0177	0,0053	12,5	2357,85	
11	0,152	0,0181	0,0054	12,4	2277,84	
12	0,151	0,0179	0,0054	12,4	2308,11	
13	0,148	0,0172	0,0052	11,9	2305,75	
14	0,149	0,0174	0,0052	12,2	2332,26	

Tabla 52: Densidad del hormigón endurecido de 240 kg/cm² edad 28 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES						
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		ESFUERZO: 240 kg/cm ²			
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ		ALTURA CILINDRO: 0,3 m			
FECHA ENSAYO:	27 DE JUNIO DEL 2013		EDAD: 28 días			
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-573					
DENSIDAD DEL HORMIGÓN ENDURECIDO						
PROBETA N°	DIÁMETRO (m)	ÁREA (m ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA HORMIGÓN (Kg)	DENSIDAD HORMIGÓN (Kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO DEL HORMIGÓN (Kg/m ³)
9	0,151	0,0179	0,0054	12,4	2308,11	2319,40
10	0,150	0,0177	0,0053	12,4	2338,99	
15	0,150	0,0177	0,0053	12,2	2301,26	
16	0,151	0,0179	0,0054	12,4	2308,11	
17	0,151	0,0179	0,0054	12,6	2345,34	
20	0,152	0,0181	0,0054	12,6	2314,58	

6.7.3.3 Densidad del hormigón endurecido de 280 kg/cm²

Tabla 53: Densidad del hormigón endurecido de 280 kg/cm² edad 7 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES						
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		ESFUERZO: 280 kg/cm ²			
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ		ALTURA CILINDRO: 0,3 m			
FECHA ENSAYO:	7 DE JUNIO DEL 2013		EDAD: 7 días			
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-573					
DENSIDAD DEL HORMIGÓN ENDURECIDO						
PROBETA N°	DIÁMETRO (m)	ÁREA (m ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA HORMIGÓN (Kg)	DENSIDAD HORMIGÓN (Kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO DEL HORMIGÓN (Kg/m ³)
1	0,150	0,0177	0,0053	12,4	2338,99	2335,00
2	0,150	0,0177	0,0053	12,4	2338,99	
3	0,151	0,0179	0,0054	12,4	2308,11	
4	0,151	0,0179	0,0054	12,6	2345,34	
21	0,149	0,0174	0,0052	12,4	2370,49	
22	0,151	0,0179	0,0054	12,4	2308,11	

Tabla 54: Densidad del hormigón endurecido de 280 kg/cm² edad 14 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES						
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		ESFUERZO: 280 kg/cm ²			
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ		ALTURA CILINDRO: 0,3 m			
FECHA ENSAYO:	14 DE JUNIO DEL 2013		EDAD: 14 días			
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-573					
DENSIDAD DEL HORMIGÓN ENDURECIDO						
PROBETA N°	DIÁMETRO (m)	ÁREA (m ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA HORMIGÓN (Kg)	DENSIDAD HORMIGÓN (Kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO DEL HORMIGÓN (Kg/m ³)
13	0,150	0,0177	0,0053	12,4	2338,99	2337,01
17	0,150	0,0177	0,0053	12,5	2357,85	
18	0,149	0,0174	0,0052	12,3	2351,37	
19	0,150	0,0177	0,0053	12,4	2338,99	
20	0,151	0,0179	0,0054	12,5	2326,72	
23	0,151	0,0179	0,0054	12,4	2308,11	

Tabla 55: Densidad del hormigón endurecido de 280 kg/cm² edad 21 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES						
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		ESFUERZO: 280 kg/cm ²			
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ		ALTURA CILINDRO: 0,3 m			
FECHA ENSAYO:	21 DE JUNIO DEL 2013		EDAD: 21 días			
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-573					
DENSIDAD DEL HORMIGÓN ENDURECIDO						
PROBETA N°	DIÁMETRO (m)	ÁREA (m ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA HORMIGÓN (Kg)	DENSIDAD HORMIGÓN (Kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO DEL HORMIGÓN (Kg/m ³)
5	0,149	0,0174	0,0052	12,3	2351,37	2334,94
6	0,150	0,0177	0,0053	12,4	2338,99	
9	0,151	0,0179	0,0054	12,5	2326,72	
10	0,150	0,0177	0,0053	12,3	2320,13	
14	0,152	0,0181	0,0054	12,6	2314,58	
24	0,150	0,0177	0,0053	12,5	2357,85	

Tabla 56: Densidad del hormigón endurecido de 280 kg/cm² edad 28 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES						
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA		ESFUERZO: 280 kg/cm ²			
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ		ALTURA CILINDRO: 0,3 m			
FECHA ENSAYO:	28 DE JUNIO DEL 2013		EDAD: 28 días			
NORMA:	NORMA NTE INEN 1-573					
DENSIDAD DEL HORMIGÓN ENDURECIDO						
PROBETA N°	DIÁMETRO (m)	ÁREA (m ²)	VOLUMEN CILINDRO (m ³)	MASA HORMIGÓN (Kg)	DENSIDAD HORMIGÓN (Kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO DEL HORMIGÓN (Kg/m ³)
7	0,151	0,0179	0,0054	12,4	2308,11	2349,47
8	0,149	0,0174	0,0052	12,3	2351,37	
11	0,149	0,0174	0,0052	12,3	2351,37	
12	0,150	0,0177	0,0053	12,6	2376,71	
15	0,150	0,0177	0,0053	12,5	2357,85	
16	0,149	0,0174	0,0052	12,3	2351,37	

6.7.4 Resistencia a la Compresión.

De las 24 muestras se tomaron 12 de estas al azar así para cada resistencia.

6.7.4.1 Resistencia a la Compresión del hormigón de 210 kg/cm²

Tabla 57: Resistencia a la Compresión del hormigón de 210 kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES								
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA							
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ							
ESFUERZO:	210 Kg/cm ²							
FECHA ENSAYO:	JUNIO DEL 2013							
MUESTRAS:	12							
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS								
NORMA ASTM C 39 (NTE INEN 1573 : 2010R)								
PROBETA N°	DIÁMETRO cm	ÁREA cm ²	CARGA Kg	RESISTENCIA		EDAD días	FECHA	
				Kg/cm ²	(%)		Elab.	Ensayo
21	14,9	174,37	25877,7	148,41	70,67%	7	29/05/2013	05/06/2013
22	14,8	172,03	24765,6	143,96	68,55%	7	29/05/2013	05/06/2013
23	15,0	176,71	26837,1	151,87	72,32%	7	29/05/2013	05/06/2013
PROMEDIO				148,08	70,51%			
13	14,9	174,37	31057,3	178,12	84,82%	14	29/05/2013	12/06/2013
14	14,9	174,37	31265,3	179,31	85,38%	14	29/05/2013	12/06/2013
15	15,0	176,71	32652,9	184,78	87,99%	14	29/05/2013	12/06/2013
PROMEDIO				180,73	86,06%			
5	15,2	181,46	36567,7	201,52	95,96%	21	29/05/2013	19/06/2013
9	14,9	174,37	34522,8	197,99	94,28%	21	29/05/2013	19/06/2013
10	14,9	174,37	35034,2	200,92	95,68%	21	29/05/2013	19/06/2013
PROMEDIO				200,14	95,31%			
3	15,1	179,08	38125,6	212,90	101,38%	28	29/05/2013	26/06/2013
4	15,0	176,71	36861,3	208,59	99,33%	28	29/05/2013	26/06/2013
7	15,1	179,08	37901,2	211,65	100,78%	28	29/05/2013	26/06/2013
PROMEDIO				211,05	100,50%			

6.7.4.2 Resistencia a la Compresión del hormigón de 240 kg/cm²

Tabla 58: Resistencia a la Compresión del hormigón de 240 kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES								
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA							
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ							
ESFUERZO:	240 Kg/cm ²							
FECHA ENSAYO:	JUNIO DEL 2013							
MUESTRAS:	12							
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS								
NORMA ASTM C 39 (NTE INEN 1573 : 2010R)								
PROBETA N°	DIÁMETRO cm	ÁREA cm ²	CARGA Kg	RESISTENCIA		EDAD días	FECHA	
				Kg/cm ²	(%)		Elab.	Ensayo
18	14,9	174,37	29101,2	166,90	69,54%	7	30/05/2013	06/06/2013
19	15,1	179,08	29643,7	165,53	68,97%	7	30/05/2013	06/06/2013
21	15,0	176,71	29856,6	168,95	70,40%	7	30/05/2013	06/06/2013
PROMEDIO				167,13	69,64%			
2	15,1	179,08	36593,3	204,34	85,14%	14	30/05/2013	13/06/2013
4	15,1	179,08	35989,1	200,97	83,74%	14	30/05/2013	13/06/2013
8	15,0	176,71	36121,9	204,41	85,17%	14	30/05/2013	13/06/2013
PROMEDIO				203,24	84,68%			
5	15,0	176,71	39891,3	225,74	94,06%	21	30/05/2013	20/06/2013
6	15,0	176,71	39978,4	226,23	94,26%	21	30/05/2013	20/06/2013
11	15,2	181,46	41122,2	226,62	94,43%	21	30/05/2013	20/06/2013
PROMEDIO				226,20	94,25%			
10	15,0	176,71	41976,5	237,54	98,97%	28	30/05/2013	27/06/2013
15	15,0	176,71	42179,7	238,69	99,45%	28	30/05/2013	27/06/2013
16	15,1	179,08	43022,5	240,24	100,10%	28	30/05/2013	27/06/2013
PROMEDIO				238,82	99,51%			

6.7.4.3 Resistencia a la Compresión del hormigón de 280 kg/cm²

Tabla 59: Resistencia a la Compresión del hormigón de 280 kg/cm²

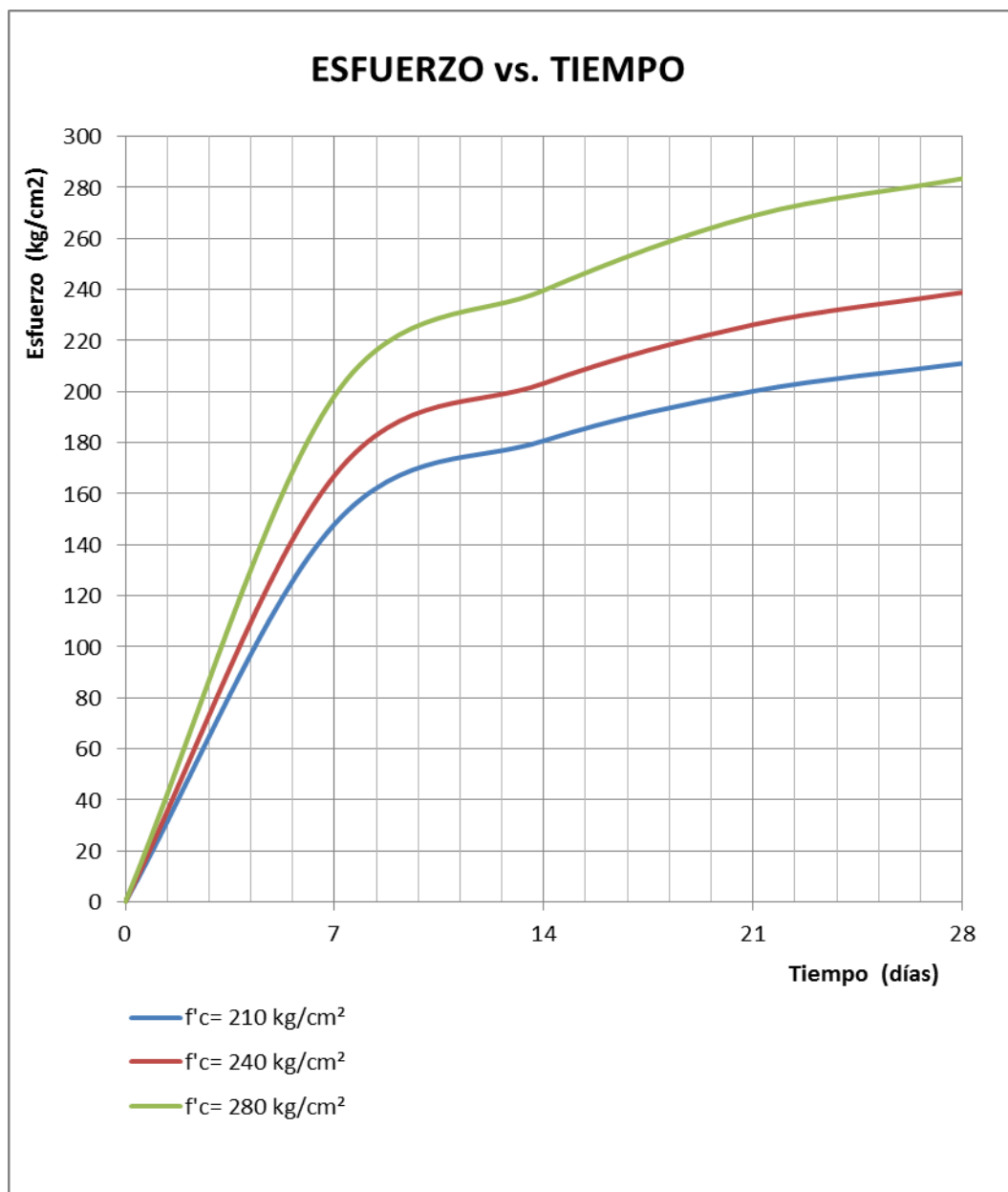
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES								
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
ORIGEN:	CANTERA PLAYA LLAGCHOA							
REALIZADO POR:	EGDO. JORGE SÁNCHEZ							
ESFUERZO:	280 Kg/cm ²							
FECHA ENSAYO:	JUNIO DEL 2013							
MUESTRAS:	12							
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS								
NORMA ASTM C 39 (NTE INEN 1573 : 2010R)								
PROBETA N°	DIÁMETRO cm	ÁREA cm ²	CARGA Kg	RESISTENCIA		EDAD días	FECHA	
				Kg/cm ²	(%)		Elab.	Ensayo
1	15	176,71	34902,2	197,51	70,54%	7	31/05/2013	07/06/2013
2	15	176,71	35076,9	198,49	70,89%	7	31/05/2013	07/06/2013
21	14,9	174,37	34698,4	199,00	71,07%	7	31/05/2013	07/06/2013
PROMEDIO				198,33	70,83%			
17	15,0	176,71	42556,9	240,82	86,01%	14	31/05/2013	14/06/2013
18	14,9	174,37	41278,3	236,73	84,55%	14	31/05/2013	14/06/2013
19	15,0	176,71	42658,4	241,40	86,21%	14	31/05/2013	14/06/2013
PROMEDIO				239,65	85,59%			
5	14,9	174,37	46531,9	266,86	95,31%	21	31/05/2013	21/06/2013
6	15,0	176,71	47514,7	268,88	96,03%	21	31/05/2013	21/06/2013
10	15,0	176,71	47864,8	270,86	96,74%	21	31/05/2013	21/06/2013
PROMEDIO				268,87	96,02%			
7	15,1	179,08	51069,8	285,18	101,85%	28	31/05/2013	28/06/2013
11	14,9	174,37	49082,9	281,49	100,53%	28	31/05/2013	28/06/2013
12	15,0	176,71	50129,7	283,68	101,31%	28	31/05/2013	28/06/2013
PROMEDIO				283,45	101,23%			

6.7.5 Resistencia a compresión del hormigón en función del tiempo para 210, 240 y 280 kg/cm²

Tabla 60: Esfuerzo vs. Tiempo

ESFUERZO vs. TIEMPO				
Resistencia \ Días	7	14	21	28
f'c= 210 kg/cm ²	148,08	180,73	200,14	211,05
f'c= 240 kg/cm ²	167,13	203,24	226,20	238,82
f'c= 280 kg/cm ²	198,33	239,65	268,87	283,45

Gráfico 14: Esfuerzo vs. Tiempo



6.7.6 Módulo de Elasticidad Estático Experimental

Para las siguientes tablas se ocuparan la resistencia a compresión del hormigón en MPa, ya que así lo establece la Norma ASTM C469.

6.7.6.1 Módulo de Elasticidad Estático para un hormigón de 210 kg/cm²

Tabla 61: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 24 f'c= 21 MPa de 7 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	24	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	05/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	7 DÍAS	ÁREA (mm ²):		17907,86	
DIÁMETRO (mm):	151,00	Carga de Rotura (kg):		26530,00	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		14,81	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ (Mpa):		5,93	
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 21 MPa EDAD 7 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	4,0	10,16	0,57	33,87
2	2000	8,0	20,32	1,13	67,73
3	3000	12,0	30,48	1,70	101,60
4	4000	16,5	41,91	2,26	139,70
5	5000	20,0	50,80	2,83	169,33
6	6000	24,0	60,96	3,40	203,20
7	7000	28,0	71,12	3,96	237,07
8	8000	33,0	83,82	4,53	279,40
9	9000	37,0	93,98	5,09	313,27
10	10000	41,0	104,14	5,66	347,13
11	11000	46,0	116,84	6,23	389,47
12	12000	52,0	132,08	6,79	440,27
13	13000	59,0	149,86	7,36	499,53
14	14000	65,0	165,10	7,92	550,33
15	15000	72,0	182,88	8,49	609,60

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 5,93$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,85$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} \text{ (} 1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm)} = 367$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{máx})} - 0.00005}$$

$$E_c = 16025,2 \text{ Mpa}$$

Gráfico 15: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 24 $f'_c = 21$ MPa de 7 días

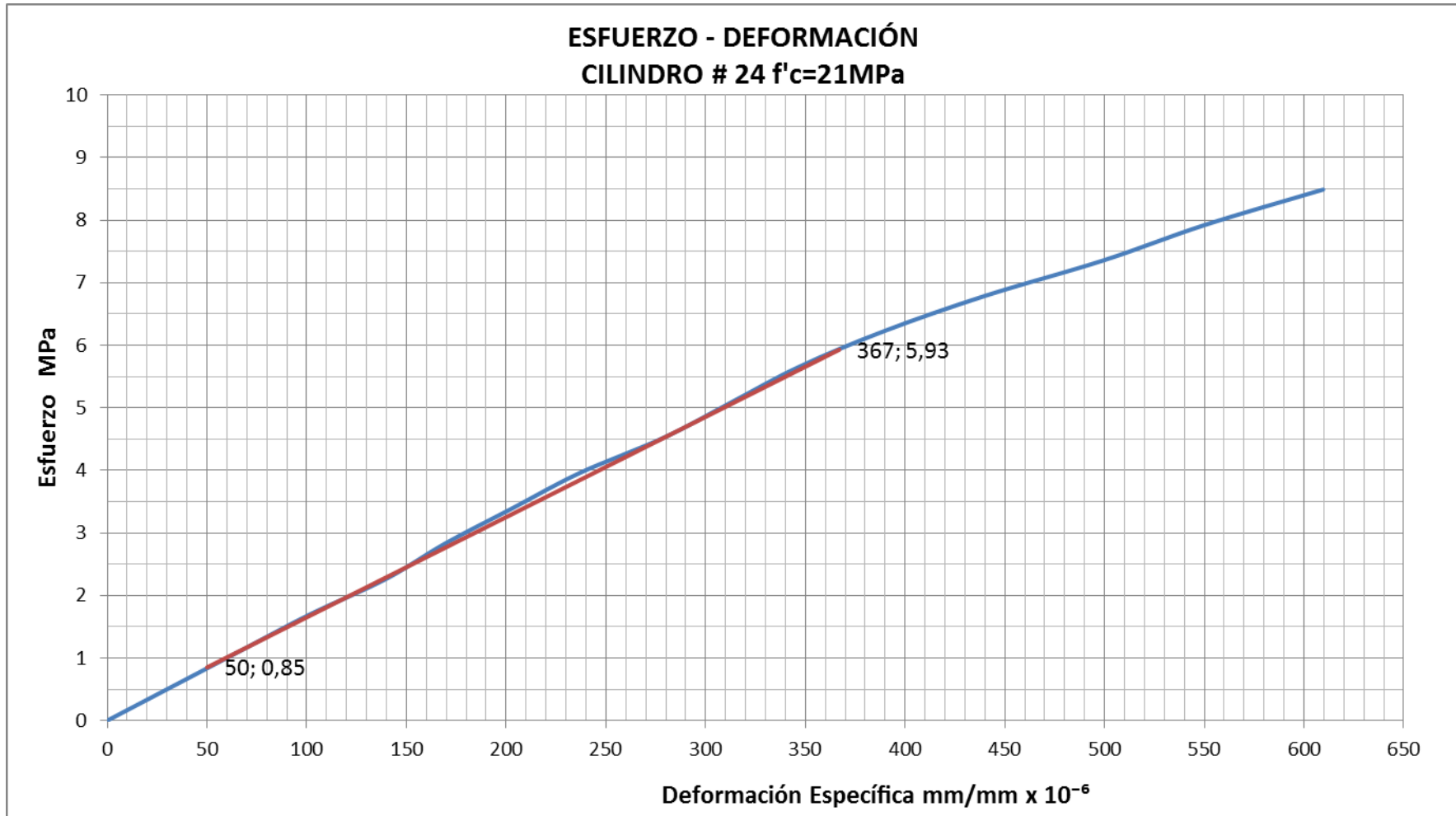


Tabla 62: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 17 f'c= 21 MPa de 7 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	17	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	05/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	7 DÍAS	ÁREA (mm²):		17907,86	
DIÁMETRO (mm):	151,00	Carga de Rotura (kg):		25722,10	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		14,36	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σr (Mpa):		5,74	
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 21 MPa EDAD 7 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	4,5	11,43	0,57	38,10
2	2000	9,0	22,86	1,13	76,20
3	3000	13,5	34,29	1,70	114,30
4	4000	18,0	45,72	2,26	152,40
5	5000	22,5	57,15	2,83	190,50
6	6000	27,0	68,58	3,40	228,60
7	7000	32,0	81,28	3,96	270,93
8	8000	37,0	93,98	4,53	313,27
9	9000	42,0	106,68	5,09	355,60
10	10000	47,0	119,38	5,66	397,93
11	11000	52,0	132,08	6,23	440,27
12	12000	57,0	144,78	6,79	482,60
13	13000	63,0	160,02	7,36	533,40
14	14000	70,0	177,80	7,92	592,67
15	15000	76,0	193,04	8,49	643,47

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 5,74$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,75$$

$$\varepsilon_{0.4\sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 403$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4\sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 14136,0 \text{ Mpa}$$

Gráfico 16: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 17 $f'_c = 21$ MPa de 7 días

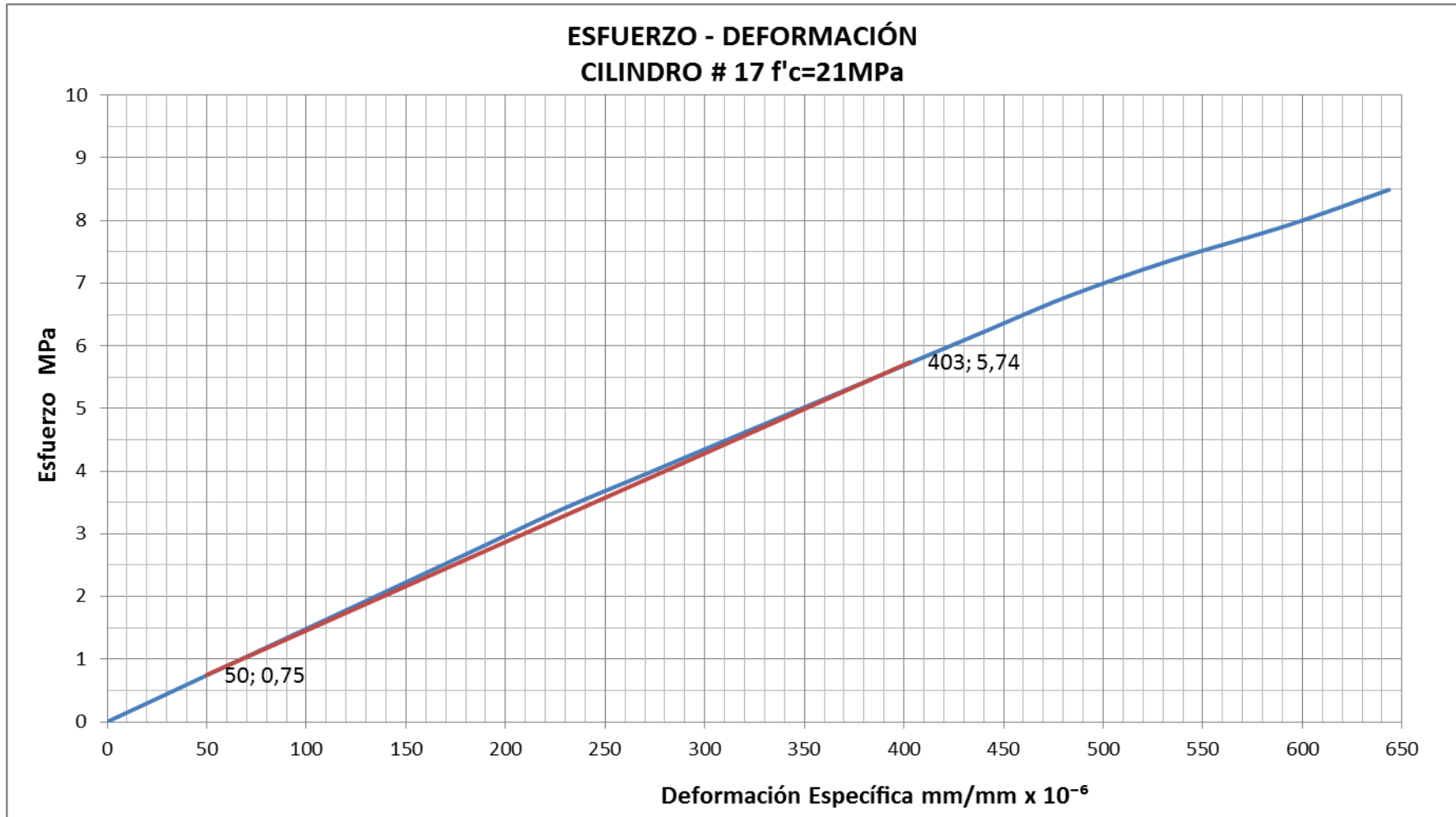


Tabla 63: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 18 f'c= 21 MPa de 7 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	18	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	05/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	7 DÍAS	ÁREA (mm²):		17671,46	
DIÁMETRO (mm):	150,00	Carga de Rotura (kg):		26174,90	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		14,81	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σr (Mpa):		5,92	
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 21 MPa EDAD 7 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	4,0	10,16	0,57	33,87
2	2000	8,0	20,32	1,13	67,73
3	3000	12,0	30,48	1,70	101,60
4	4000	16,0	40,64	2,26	135,47
5	5000	20,5	52,07	2,83	173,57
6	6000	25,0	63,50	3,40	211,67
7	7000	29,5	74,93	3,96	249,77
8	8000	34,5	87,63	4,53	292,10
9	9000	39,0	99,06	5,09	330,20
10	10000	43,5	110,49	5,66	368,30
11	11000	48,5	123,19	6,23	410,63
12	12000	53,5	135,89	6,79	452,97
13	13000	58,5	148,59	7,36	495,30
14	14000	64,0	162,56	7,92	541,87
15	15000	71,0	180,34	8,49	601,13

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 5,92$$

$$\sigma_{(0,00005)} \text{ (MPa)} = 0,83$$

$$\varepsilon_{0,4 \sigma_r} \text{ (} 1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm)} = 387$$

$$E_c = \frac{0,4 \sigma_r - \sigma_{(0,00005)}}{\varepsilon_{(0,4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0,00005}$$

$$E_c = 15103,9 \text{ Mpa}$$

Gráfico 17: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 18 $f'_c = 21$ MPa de 7 días

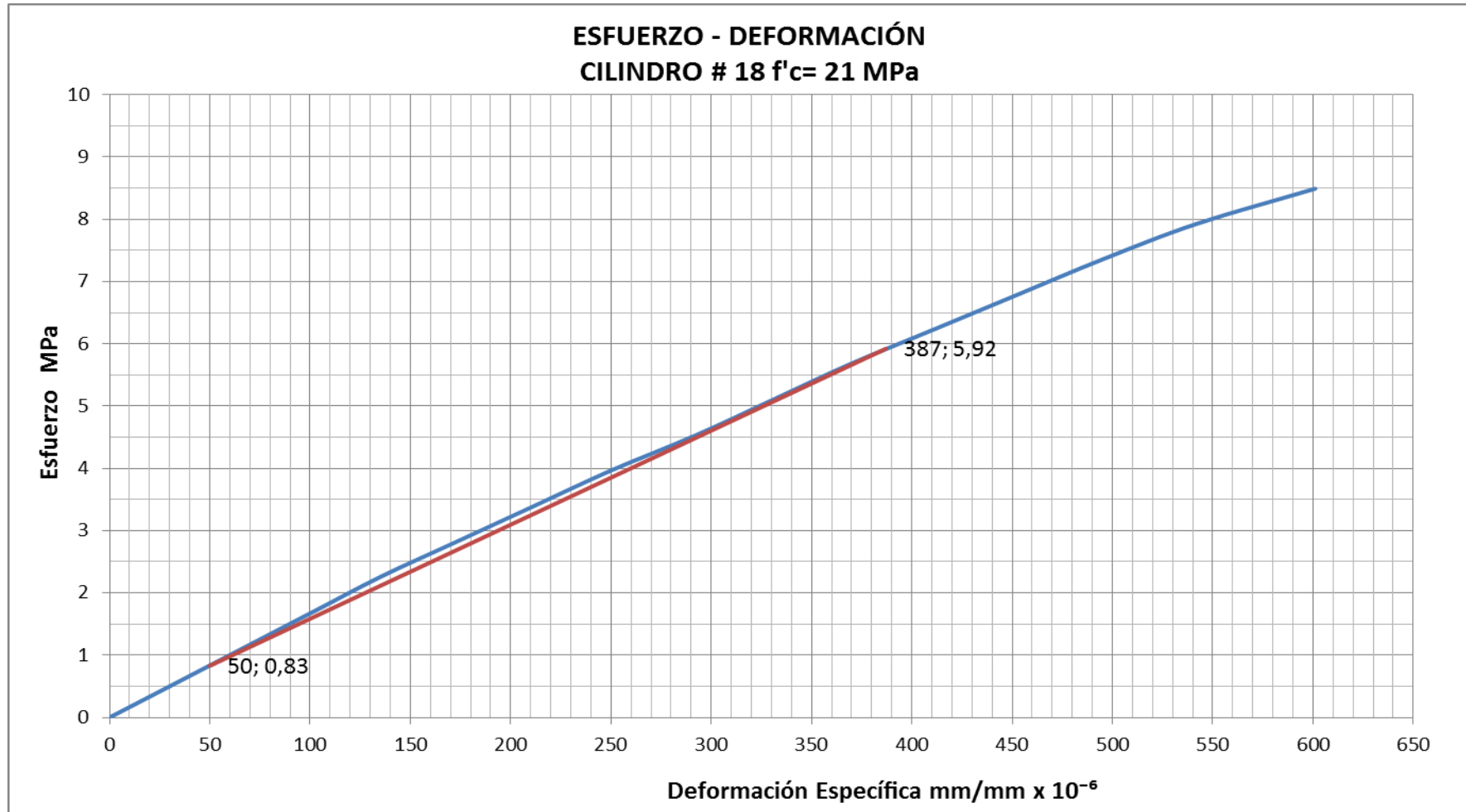


Tabla 64: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 16 $f'_c = 21$ MPa de 14 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	16	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	12/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	14 DÍAS	ÁREA (mm²):		17907,86	
DIÁMETRO (mm):	151,00	Carga de Rotura (kg):		31152,80	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		17,40	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ_r (Mpa):		6,96	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c = 21$ MPa EDAD 14 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1 μ g x 10 ⁻⁴	1mm x 10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,5	8,89	0,57	29,63
2	2000	7,0	17,78	1,13	59,27
3	3000	10,5	26,67	1,70	88,90
4	4000	14,0	35,56	2,26	118,53
5	5000	18,0	45,72	2,83	152,40
6	6000	22,0	55,88	3,40	186,27
7	7000	25,5	64,77	3,96	215,90
8	8000	29,0	73,66	4,53	245,53
9	9000	32,5	82,55	5,09	275,17
10	10000	36,0	91,44	5,66	304,80
11	11000	39,5	100,33	6,23	334,43
12	12000	44,0	111,76	6,79	372,53
13	13000	51,0	129,54	7,36	431,80
14	14000	56,0	142,24	7,92	474,13
15	15000	62,0	157,48	8,49	524,93
16	16000	67,5	171,45	9,06	571,50
17	17000	79,0	200,66	9,62	668,87
18	18000	87,0	220,98	10,19	736,60

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 6,96$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,94$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 390$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 17705,9 \text{ Mpa}$$

Gráfico 18: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 16 $f'_c = 21$ MPa de 14 días

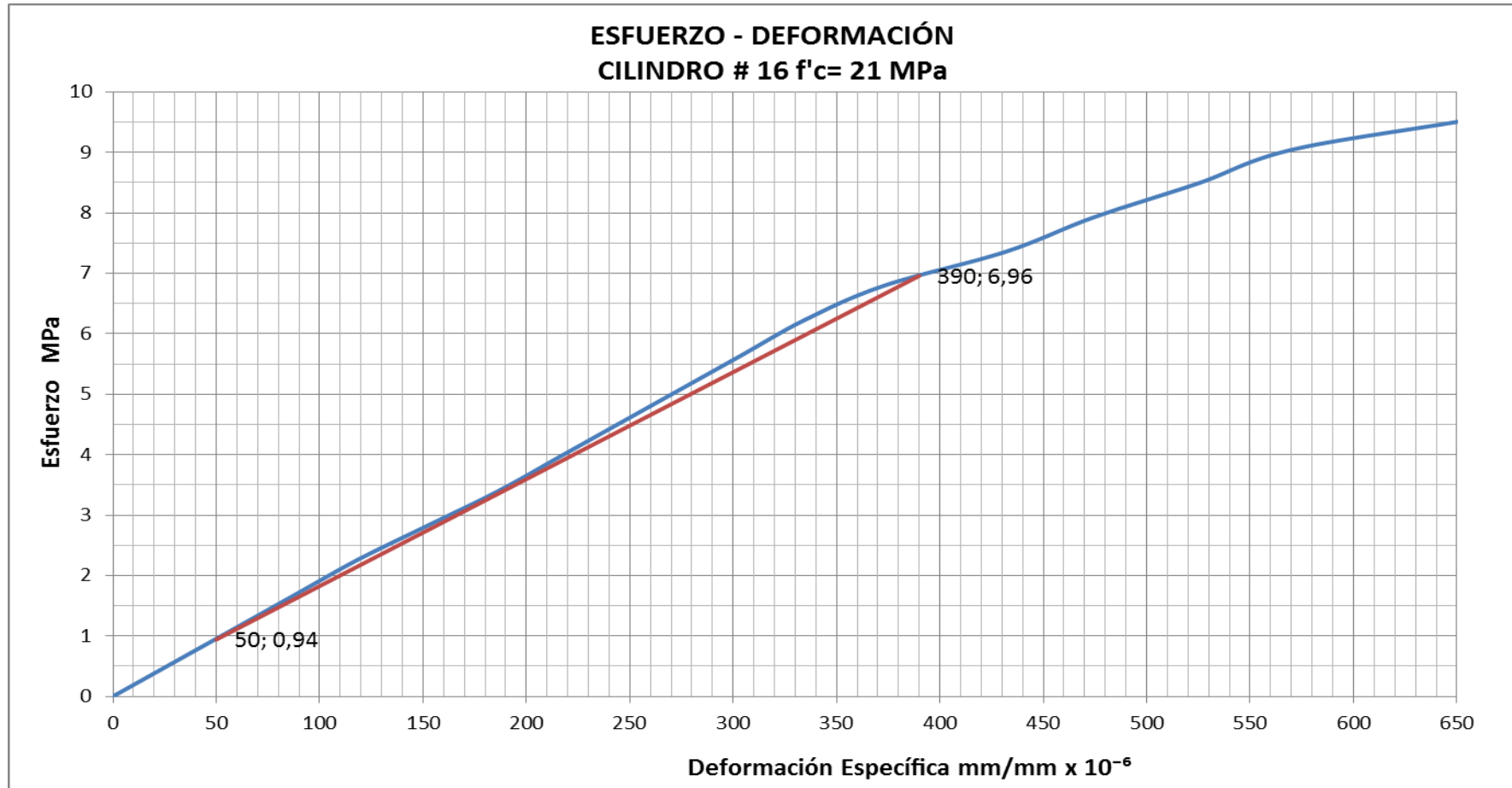


Tabla 65: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 19 $f'_c = 21$ MPa de 14 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	19	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	12/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	14 DÍAS	ÁREA (mm²):		17671,46	
DIÁMETRO (mm):	150,00	Carga de Rotura (kg):		30957,60	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		17,52	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ_r (Mpa):		7,01	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c = 21$ MPa EDAD 14 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	4,0	10,16	0,57	33,87
2	2000	7,5	19,05	1,13	63,50
3	3000	11,0	27,94	1,70	93,13
4	4000	14,5	36,83	2,26	122,77
5	5000	18,0	45,72	2,83	152,40
6	6000	22,0	55,88	3,40	186,27
7	7000	25,5	64,77	3,96	215,90
8	8000	29,0	73,66	4,53	245,53
9	9000	32,5	82,55	5,09	275,17
10	10000	36,0	91,44	5,66	304,80
11	11000	40,0	101,60	6,23	338,67
12	12000	44,5	113,03	6,79	376,77
13	13000	51,0	129,54	7,36	431,80
14	14000	56,0	142,24	7,92	474,13
15	15000	61,5	156,21	8,49	520,70
16	16000	67,0	170,18	9,06	567,27
17	17000	78,5	199,39	9,62	664,63
18	18000	86,5	219,71	10,19	732,37

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r (MPa) = 7,01$$

$$\sigma_{(0.00005)} (MPa) = 0,88$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} mm/mm) = 396$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 17716,8 \text{ Mpa}$$

Gráfico 19: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 19 $f'_c = 21$ MPa de 14 días

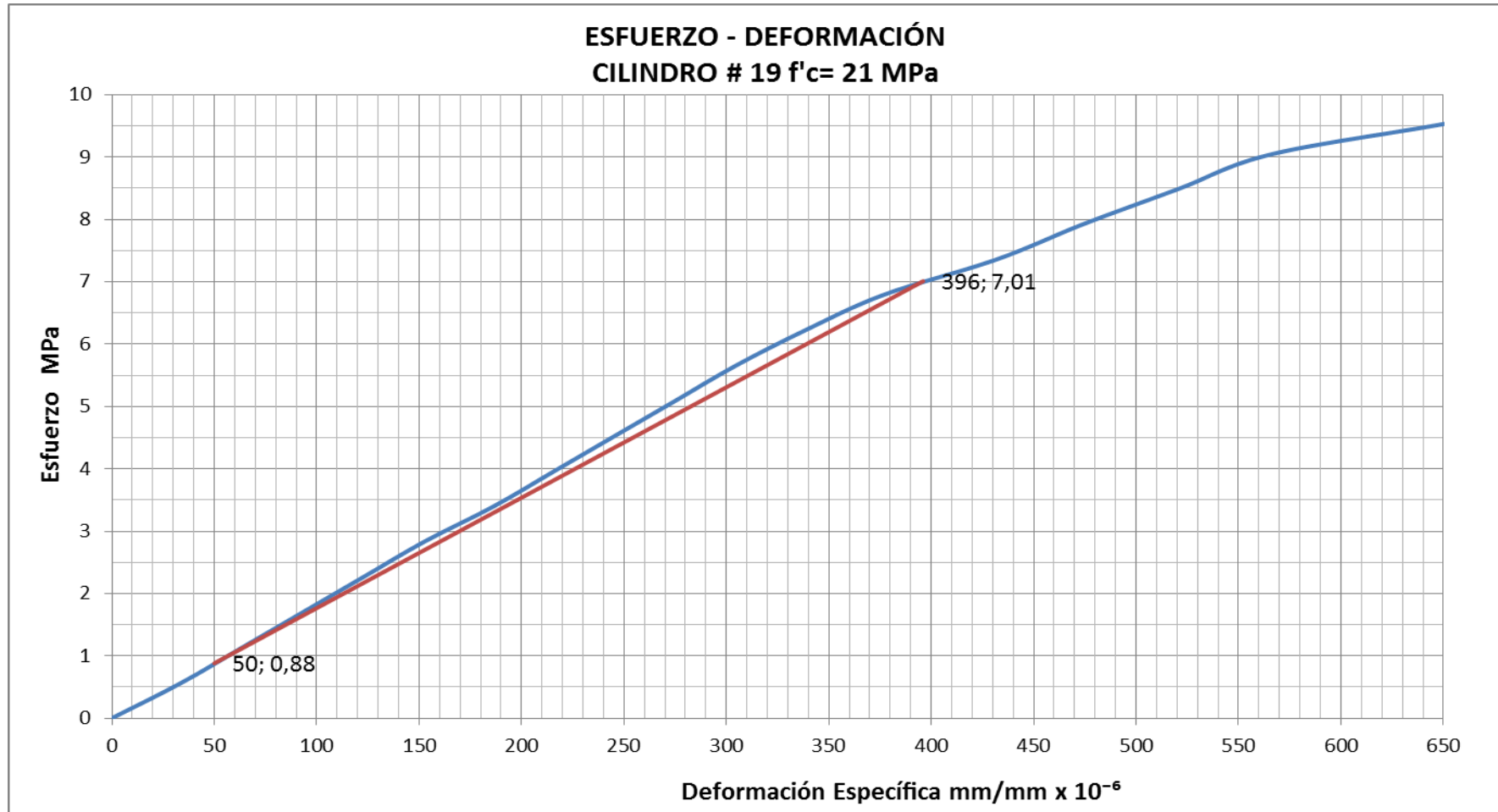


Tabla 66: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 20 $f'_c = 21$ MPa de 14 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	20	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	12/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	14 DÍAS	ÁREA (mm²):		17671,46	
DIÁMETRO (mm):	150,00	Carga de Rotura (kg):		31076,40	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		17,59	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ_r (Mpa):		7,03	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c = 21$ MPa EDAD 14 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	4,0	10,16	0,57	33,87
2	2000	7,5	19,05	1,13	63,50
3	3000	11,0	27,94	1,70	93,13
4	4000	14,5	36,83	2,26	122,77
5	5000	18,0	45,72	2,83	152,40
6	6000	22,0	55,88	3,40	186,27
7	7000	26,0	66,04	3,96	220,13
8	8000	30,0	76,20	4,53	254,00
9	9000	34,0	86,36	5,09	287,87
10	10000	37,5	95,25	5,66	317,50
11	11000	41,0	104,14	6,23	347,13
12	12000	45,5	115,57	6,79	385,23
13	13000	52,0	132,08	7,36	440,27
14	14000	57,0	144,78	7,92	482,60
15	15000	62,5	158,75	8,49	529,17
16	16000	68,0	172,72	9,06	575,73
17	17000	79,5	201,93	9,62	673,10
18	18000	87,5	222,25	10,19	740,83

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 7,03$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,88$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 407$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{máx})} - 0.00005}$$

$$E_c = 17226,9 \text{ Mpa}$$

Gráfico 20: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 20 $f'_c = 21$ MPa de 14 días

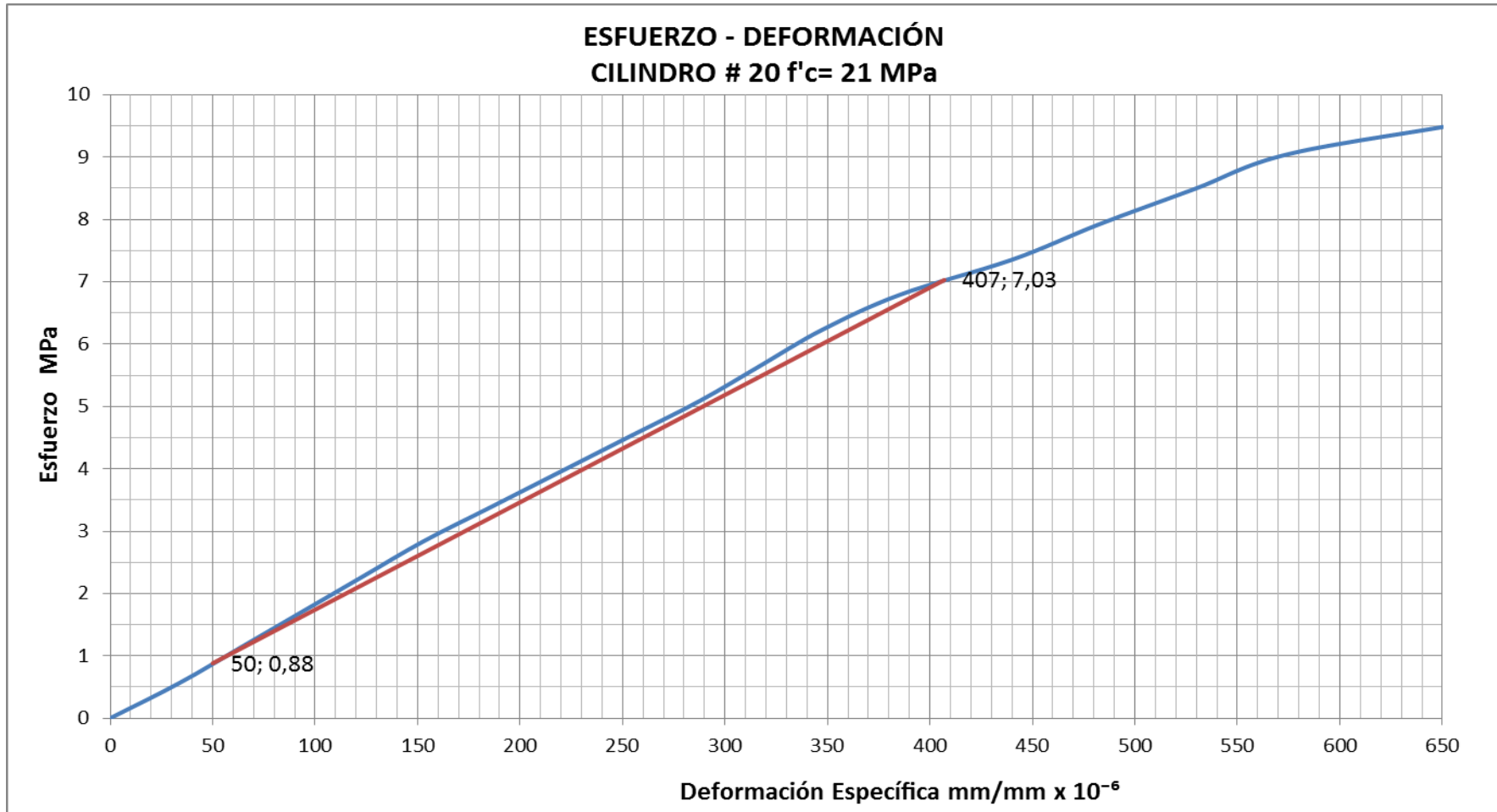


Tabla 67: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 1 f'c= 21 MPa de 21 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	1	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	19/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	21 DÍAS	ÁREA (mm²):		18145,84	
DIÁMETRO (mm):	152,00	Carga de Rotura (kg):		35024,70	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		19,85	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σr (Mpa):		7,94	
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 21 MPa EDAD 21 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,5	8,89	0,57	29,63
2	2000	7,0	17,78	1,13	59,27
3	3000	10,5	26,67	1,70	88,90
4	4000	14,0	35,56	2,26	118,53
5	5000	17,5	44,45	2,83	148,17
6	6000	21,0	53,34	3,40	177,80
7	7000	24,5	62,23	3,96	207,43
8	8000	28,0	71,12	4,53	237,07
9	9000	31,5	80,01	5,09	266,70
10	10000	35,0	88,90	5,66	296,33
11	11000	39,0	99,06	6,23	330,20
12	12000	43,0	109,22	6,79	364,07
13	13000	47,0	119,38	7,36	397,93
14	14000	51,0	129,54	7,92	431,80
15	15000	55,0	139,70	8,49	465,67
16	16000	59,0	149,86	9,06	499,53
17	17000	63,0	160,02	9,62	533,40
18	18000	67,0	170,18	10,19	567,27
19	19000	71,5	181,61	10,75	605,37

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 7,94$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,94$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 433$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 18276,8 \text{ Mpa}$$

Gráfico 21: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 1 $f'_c = 21$ MPa de 21 días

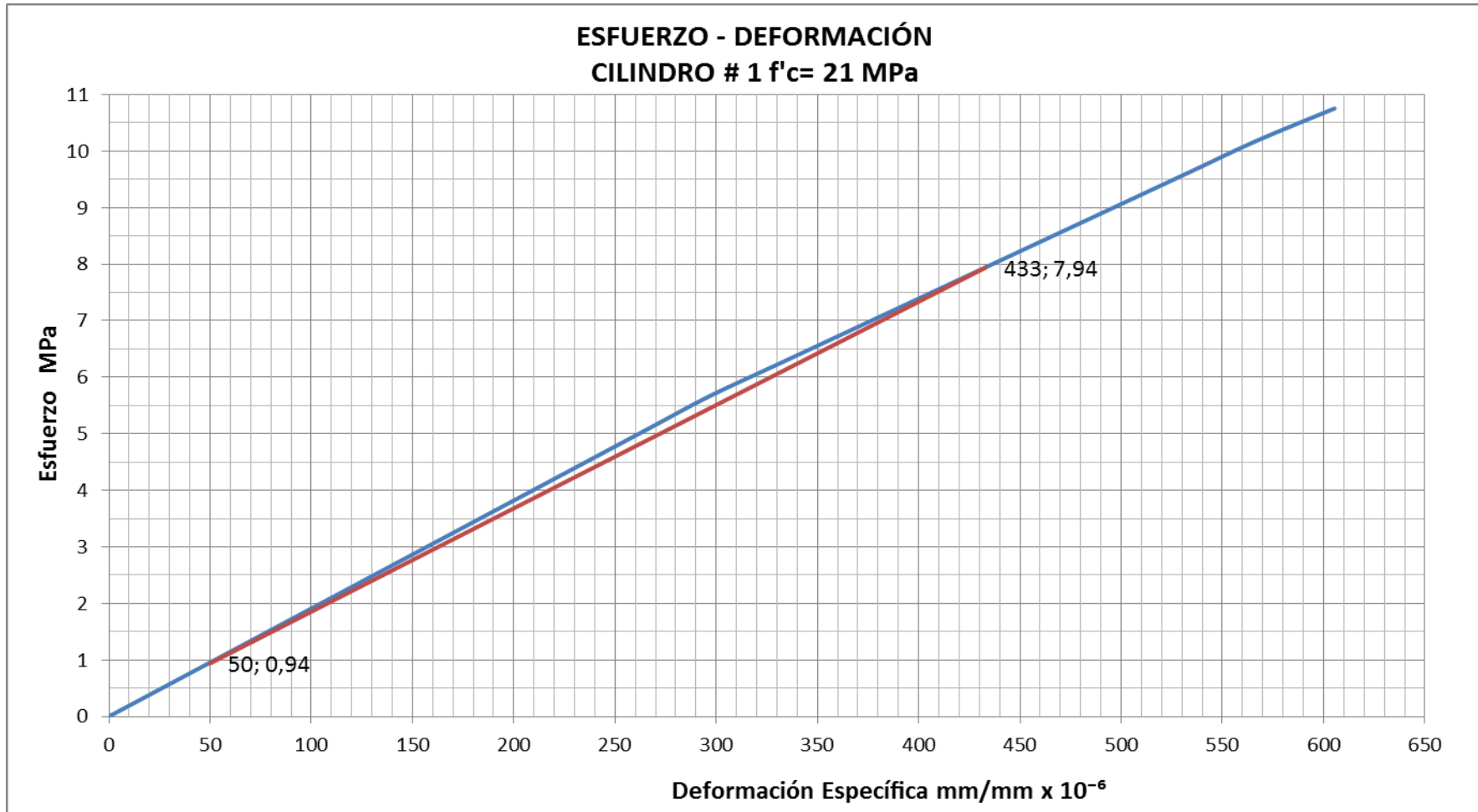


Tabla 68: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 2 f'c= 21 MPa de 21 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	2	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	19/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	21 DÍAS	ÁREA (mm²):		17907,86	
DIÁMETRO (mm):	151,00	Carga de Rotura (kg):		35965,80	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		20,08	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σr (Mpa):		8,03	
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 21 MPa EDAD 21 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	4,0	10,16	0,57	33,87
2	2000	7,5	19,05	1,13	63,50
3	3000	10,5	26,67	1,70	88,90
4	4000	14,0	35,56	2,26	118,53
5	5000	18,0	45,72	2,83	152,40
6	6000	21,0	53,34	3,40	177,80
7	7000	25,0	63,50	3,96	211,67
8	8000	27,5	69,85	4,53	232,83
9	9000	31,5	80,01	5,09	266,70
10	10000	35,0	88,90	5,66	296,33
11	11000	39,0	99,06	6,23	330,20
12	12000	43,0	109,22	6,79	364,07
13	13000	47,0	119,38	7,36	397,93
14	14000	51,0	129,54	7,92	431,80
15	15000	55,0	139,70	8,49	465,67
16	16000	59,0	149,86	9,06	499,53
17	17000	62,5	158,75	9,62	529,17
18	18000	67,5	171,45	10,19	571,50
19	19000	72,0	182,88	10,75	609,60

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r (MPa) = 8,03$$

$$\sigma_{(0.00005)} (MPa) = 0,86$$

$$\varepsilon_{0,4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} mm/mm) = 439$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{máx})} - 0.00005}$$

$$E_c = 18431,9 \text{ Mpa}$$

Gráfico 22: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 2 $f'_c = 21$ MPa de 21 días

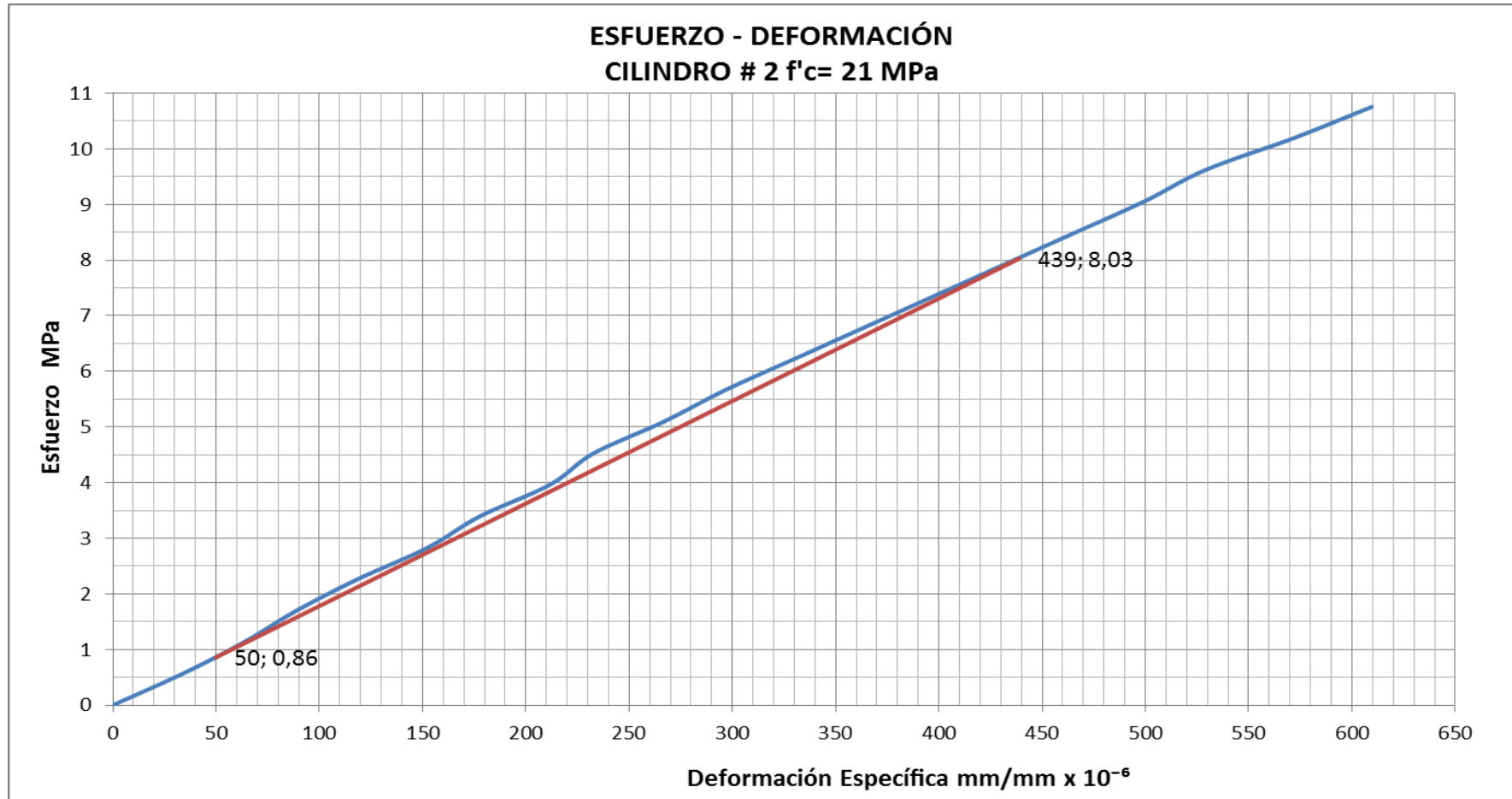


Tabla 69: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 6 f'c= 21 MPa de 21 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	6	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	19/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	21 DÍAS	ÁREA (mm²):		17907,86	
DIÁMETRO (mm):	151,00	Carga de Rotura (kg):		36034,10	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		20,12	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σr (Mpa):		8,05	
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 21 MPa EDAD 21 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,5	8,89	0,57	29,63
2	2000	7,0	17,78	1,13	59,27
3	3000	10,5	26,67	1,70	88,90
4	4000	14,0	35,56	2,26	118,53
5	5000	18,0	45,72	2,83	152,40
6	6000	21,0	53,34	3,40	177,80
7	7000	25,0	63,50	3,96	211,67
8	8000	28,0	71,12	4,53	237,07
9	9000	32,0	81,28	5,09	270,93
10	10000	36,0	91,44	5,66	304,80
11	11000	40,0	101,60	6,23	338,67
12	12000	43,0	109,22	6,79	364,07
13	13000	47,0	119,38	7,36	397,93
14	14000	51,0	129,54	7,92	431,80
15	15000	55,0	139,70	8,49	465,67
16	16000	59,0	149,86	9,06	499,53
17	17000	62,5	158,75	9,62	529,17
18	18000	67,5	171,45	10,19	571,50
19	19000	72,0	182,88	10,75	609,60

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 8,05$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,95$$

$$\varepsilon_{0.4\sigma_r} \times 10^{-6} \text{ mm/mm} = 440$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4\sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 18205,1 \text{ Mpa}$$

Gráfico 23: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 6 $f'_c= 21$ MPa de 21 días

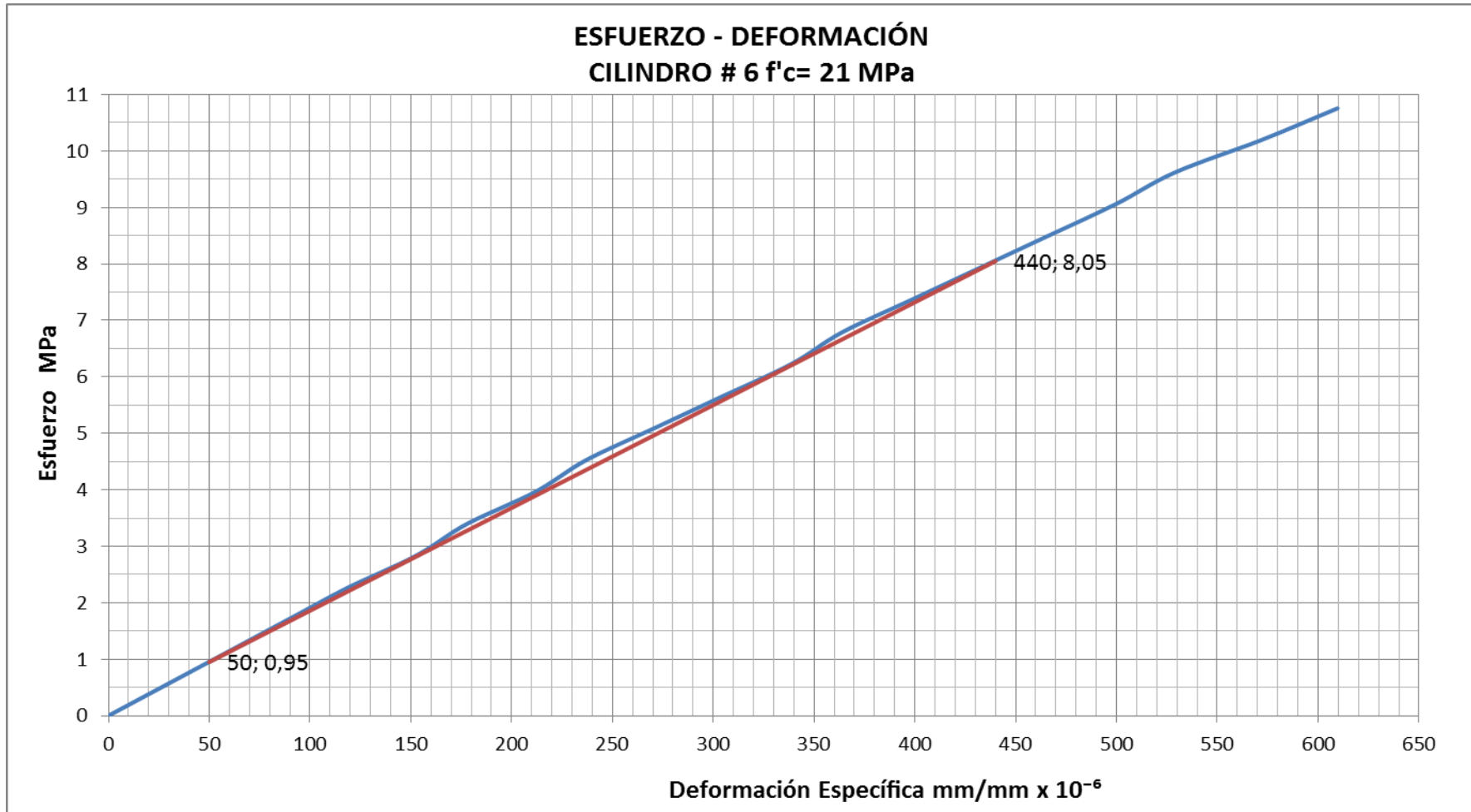


Tabla 70: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 8 $f'_c= 21$ MPa de 28 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	8	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	26/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	28 DÍAS	ÁREA (mm²):		18145,84	
DIÁMETRO (mm):	152,00	Carga de Rotura (kg):		37841,10	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		20,85	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ_r (Mpa):		8,34	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c= 21$ MPa EDAD 28 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plu $\times 10^{-4}$	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,5	8,89	0,55	29,63
2	2000	7,0	17,78	1,10	59,27
3	3000	10,0	25,40	1,65	84,67
4	4000	13,0	33,02	2,20	110,07
5	5000	16,0	40,64	2,76	135,47
6	6000	20,0	50,80	3,31	169,33
7	7000	24,5	62,23	3,86	207,43
8	8000	28,0	71,12	4,41	237,07
9	9000	32,0	81,28	4,96	270,93
10	10000	36,0	91,44	5,51	304,80
11	11000	40,0	101,60	6,06	338,67
12	12000	43,0	109,22	6,61	364,07
13	13000	46,0	116,84	7,16	389,47
14	14000	49,0	124,46	7,72	414,87
15	15000	52,0	132,08	8,27	440,27
16	16000	56,5	143,51	8,82	478,37
17	17000	60,5	153,67	9,37	512,23
18	18000	65,5	166,37	9,92	554,57
19	19000	70,5	179,07	10,47	596,90
20	20000	75,5	191,77	11,02	639,23
21	21000	80,5	204,47	11,57	681,57
22	22000	86,0	218,44	12,12	728,13
23	23000	91,0	231,14	12,68	770,47
24	24000	96,5	245,11	13,23	817,03
25	25000	102,0	259,08	13,78	863,60

26	26000	107,5	273,05	14,33	910,17
27	27000	113,0	287,02	14,88	956,73
28	28000	119,0	302,26	15,43	1007,53
29	29000	125,0	317,50	15,98	1058,33
30	30000	131,0	332,74	16,53	1109,13
31	31000	139,5	354,33	17,08	1181,10
32	32000	149,5	379,73	17,64	1265,77
33	33000	164,5	417,83	18,19	1392,77
34	34000	179,5	455,93	18,74	1519,77
35	35000	199,5	506,73	19,29	1689,10
36	36000	219,5	557,53	19,84	1858,43
37	37000	249,5	633,73	20,39	2112,43
38	37841	279,5	709,93	20,85	2366,43
39	37500	309,0	784,86	20,67	2616,20
40	36500	339,0	861,06	20,12	2870,20
41	35500	369,0	937,26	19,56	3124,20
42	34000	398,0	1010,92	18,74	3369,73
43	32500	428,0	1087,12	17,91	3623,73
44	31000	457	1160,78	17,08	3869,27

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 8,34$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,95$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} 1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm} = 441$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = \mathbf{18900,3 \text{ Mpa}}$$

Gráfico 24: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 8 $f'_c = 21$ MPa de 28 días

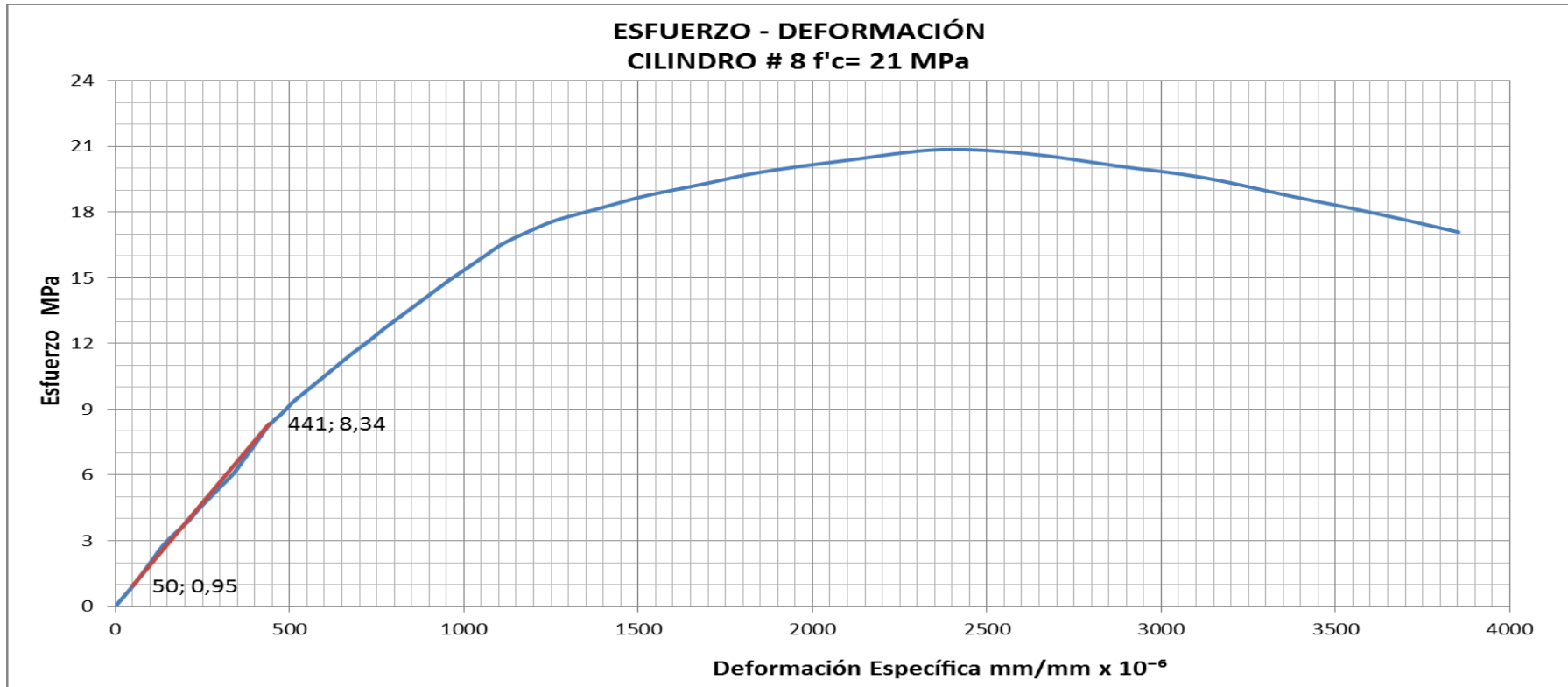


Tabla 71: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 11 $f'_c = 21$ MPa de 28 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	11	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	26/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	28 DÍAS	ÁREA (mm²):		17907,86	
DIÁMETRO (mm):	151,00	Carga de Rotura (kg):		37096,30	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		20,72	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ (Mpa):		8,29	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c = 21$ MPa EDAD 28 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plu $\times 10^{-4}$	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,5	8,89	0,56	29,63
2	2000	7,0	17,78	1,12	59,27
3	3000	10,0	25,40	1,68	84,67
4	4000	13,0	33,02	2,23	110,07
5	5000	16,0	40,64	2,79	135,47
6	6000	20,0	50,80	3,35	169,33
7	7000	24,5	62,23	3,91	207,43
8	8000	28,0	71,12	4,47	237,07
9	9000	32,0	81,28	5,03	270,93
10	10000	36,0	91,44	5,58	304,80
11	11000	40,0	101,60	6,14	338,67
12	12000	43,0	109,22	6,70	364,07
13	13000	46,0	116,84	7,26	389,47
14	14000	49,0	124,46	7,82	414,87
15	15000	52,0	132,08	8,38	440,27
16	16000	56,5	143,51	8,93	478,37
17	17000	61,0	154,94	9,49	516,47
18	18000	66,0	167,64	10,05	558,80
19	19000	71,0	180,34	10,61	601,13
20	20000	76,0	193,04	11,17	643,47
21	21000	81,0	205,74	11,73	685,80
22	22000	86,0	218,44	12,29	728,13
23	23000	91,5	232,41	12,84	774,70
24	24000	97,0	246,38	13,40	821,27
25	25000	102,5	260,35	13,96	867,83

26	26000	108,0	274,32	14,52	914,40
27	27000	113,5	288,29	15,08	960,97
28	28000	119,5	303,53	15,64	1011,77
29	29000	125,5	318,77	16,19	1062,57
30	30000	131,5	334,01	16,75	1113,37
31	31000	140,0	355,60	17,31	1185,33
32	32000	150,0	381,00	17,87	1270,00
33	33000	165,0	419,10	18,43	1397,00
34	34000	180,0	457,20	18,99	1524,00
35	35000	200,0	508,00	19,54	1693,33
36	36000	220,0	558,80	20,10	1862,67
37	37000	250,0	635,00	20,66	2116,67
38	37096,3	280,0	711,20	20,71	2370,67
39	36500	310,0	787,40	20,38	2624,67
40	35500	340,0	863,60	19,82	2878,67
41	34250	370,0	939,80	19,13	3132,67
42	33000	400,0	1016,00	18,43	3386,67
43	31500	430,0	1092,20	17,59	3640,67
44	30000	460	1168,4	16,75	3894,67

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 8,29$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,96$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} 1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm} = 437$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = \mathbf{18940,6 \text{ Mpa}}$$

Gráfico 25: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 11 $f'_c = 21$ MPa de 28 días

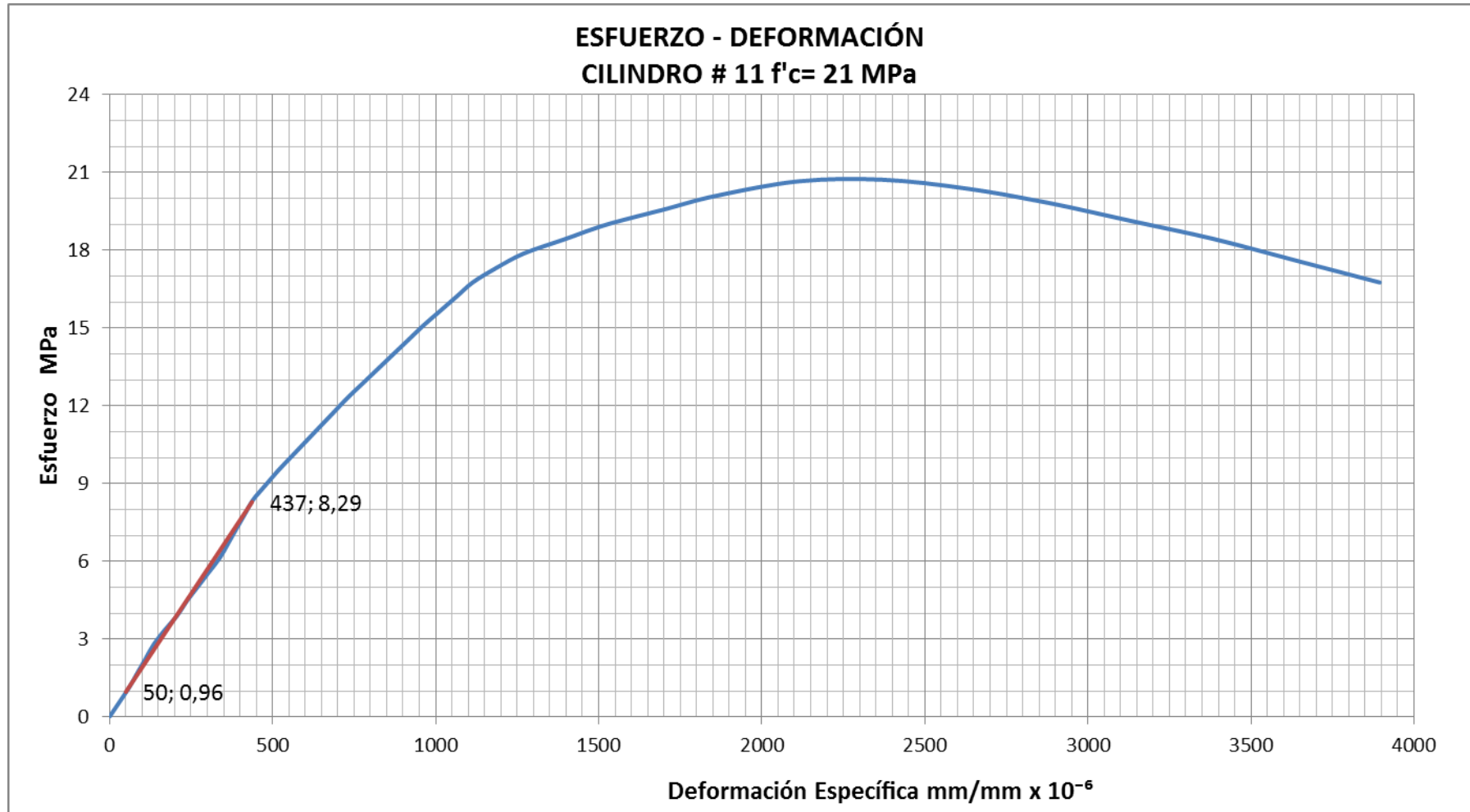


Tabla 72: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 12 $f'_c = 21$ MPa de 28 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	12	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	26/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	28 DÍAS	ÁREA (mm²):		17436,62	
DIÁMETRO (mm):	149,00	Carga de Rotura (kg):		35962,80	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		20,62	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ (Mpa):		8,25	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c = 21$ MPa EDAD 28 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	4,0	10,16	0,57	33,87
2	2000	7,5	19,05	1,15	63,50
3	3000	10,5	26,67	1,72	88,90
4	4000	13,5	34,29	2,29	114,30
5	5000	16,5	41,91	2,87	139,70
6	6000	20,5	52,07	3,44	173,57
7	7000	25,0	63,50	4,01	211,67
8	8000	28,5	72,39	4,59	241,30
9	9000	32,5	82,55	5,16	275,17
10	10000	37,0	93,98	5,74	313,27
11	11000	41,0	104,14	6,31	347,13
12	12000	44,0	111,76	6,88	372,53
13	13000	47,0	119,38	7,46	397,93
14	14000	50,0	127,00	8,03	423,33
15	15000	53,0	134,62	8,60	448,73
16	16000	57,0	144,78	9,18	482,60
17	17000	62,0	157,48	9,75	524,93
18	18000	68,0	172,72	10,32	575,73
19	19000	73,0	185,42	10,90	618,07
20	20000	78,0	198,12	11,47	660,40
21	21000	83,0	210,82	12,04	702,73
22	22000	88,0	223,52	12,62	745,07
23	23000	92,0	233,68	13,19	778,93
24	24000	98,0	248,92	13,76	829,73
25	25000	103,0	261,62	14,34	872,07

26	26000	109,0	276,86	14,91	922,87
27	27000	114,0	289,56	15,49	965,20
28	28000	121,0	307,34	16,06	1024,47
29	29000	126,0	320,04	16,63	1066,80
30	30000	132,0	335,28	17,21	1117,60
31	31000	141,0	358,14	17,78	1193,80
32	32000	151,0	383,54	18,35	1278,47
33	33000	166,0	421,64	18,93	1405,47
34	34000	181,0	459,74	19,50	1532,47
35	35000	202,0	513,08	20,07	1710,27
36	35500	220,0	558,80	20,36	1862,67
37	35963	250,0	635,00	20,63	2116,67
38	35500	280,0	711,20	20,36	2370,67
39	35000	300,0	762,00	20,07	2540,00
40	34000	320,0	812,80	19,50	2709,33
41	33000	345,0	876,30	18,93	2921,00
42	31500	370,0	939,80	18,07	3132,67
43	30000	395,0	1003,30	17,21	3344,33
44	28500	420,0	1066,8	16,35	3556,00

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 8,25$$

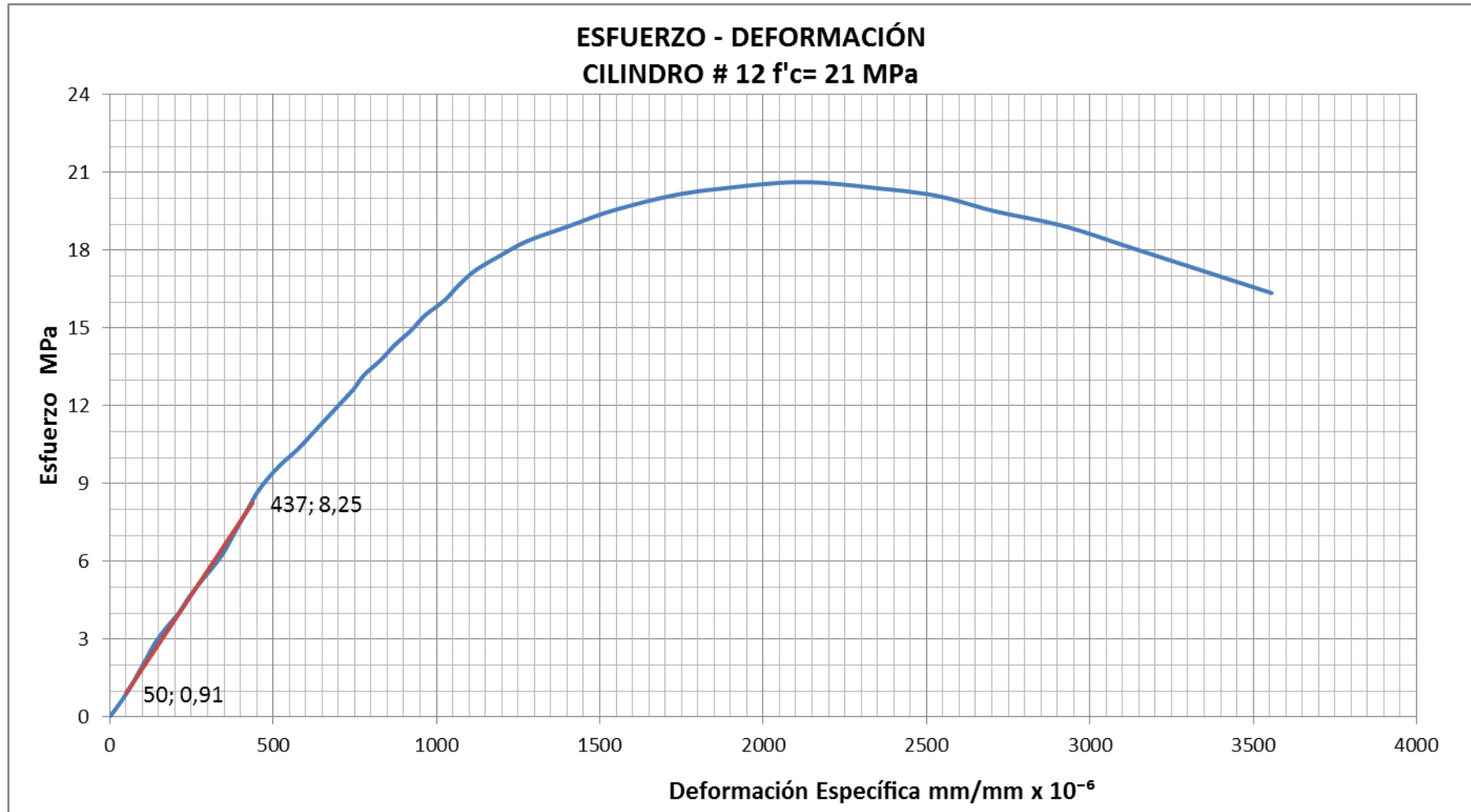
$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,91$$

$$\varepsilon_{0.4\sigma_r} 1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm} = 437$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4\sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 18966,4 \text{ Mpa}$$

Gráfico 26: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 12 $f'_c = 21$ MPa de 28 días



6.7.6.2 Módulo de Elasticidad Estático para un hormigón de 240 kg/cm²

Tabla 73: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 22 f'c= 24 MPa de 7 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	22	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	06/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	7 DÍAS	ÁREA (mm²):		17671,46	
DIÁMETRO (mm):	150,00	Carga de Rotura (kg):		29262,80	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		16,56	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ_r (Mpa):		6,62	
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 24 MPa EDAD 7 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	4,5	11,43	0,57	38,10
2	2000	9,0	22,86	1,13	76,20
3	3000	13,0	33,02	1,70	110,07
4	4000	17,0	43,18	2,26	143,93
5	5000	21,0	53,34	2,83	177,80
6	6000	24,5	62,23	3,40	207,43
7	7000	28,5	72,39	3,96	241,30
8	8000	33,0	83,82	4,53	279,40
9	9000	37,0	93,98	5,09	313,27
10	10000	41,0	104,14	5,66	347,13
11	11000	45,5	115,57	6,23	385,23
12	12000	50,0	127,00	6,79	423,33
13	13000	55,0	139,70	7,36	465,67
14	14000	60,0	152,40	7,92	508,00
15	15000	65,0	165,10	8,49	550,33

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 6,62$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,72$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 410$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 16388,9 \text{ Mpa}$$

Gráfico 27: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 22 $f'_c=24$ MPa de 7 días

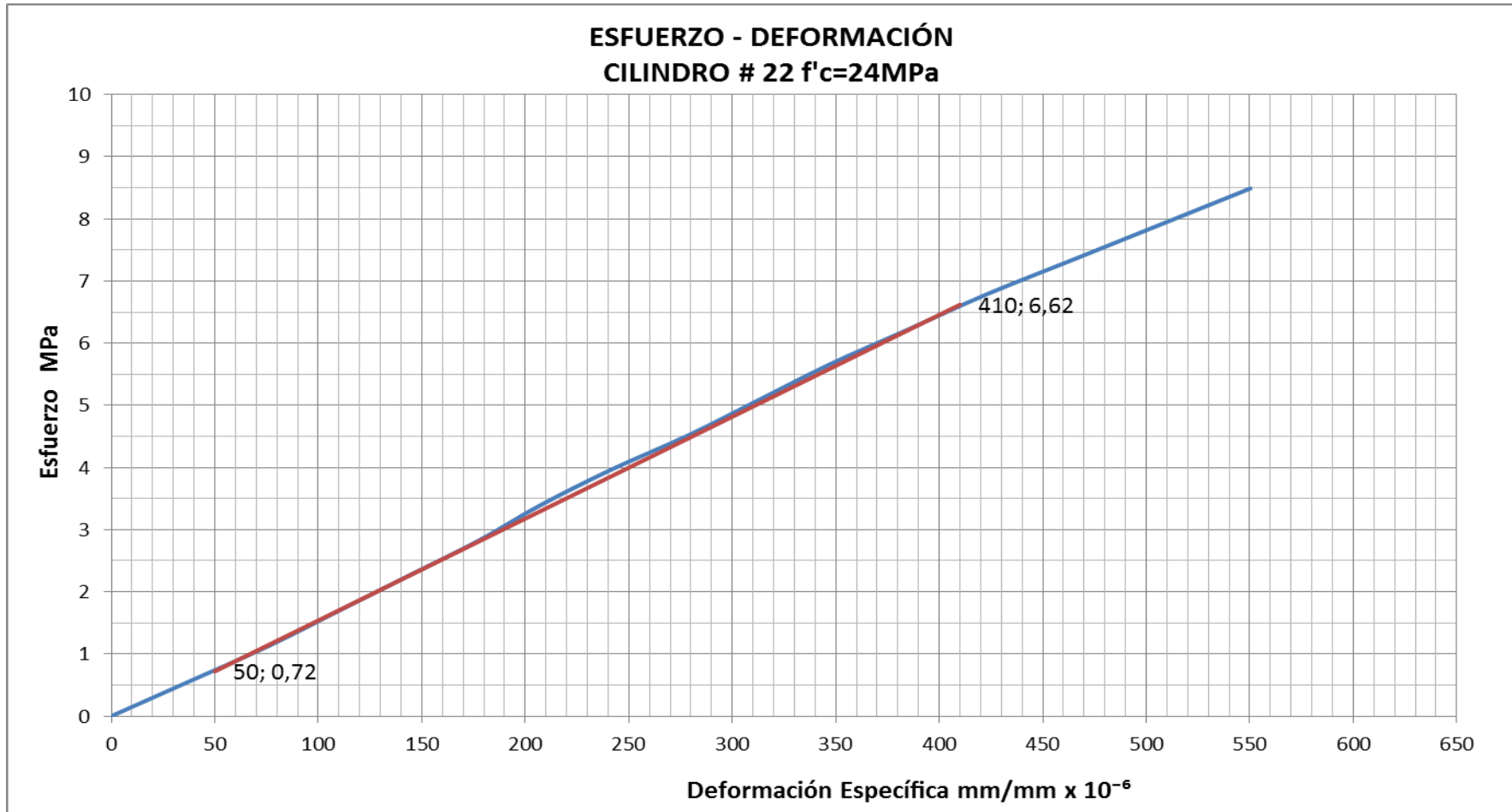


Tabla 74: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 23 f'c= 24 MPa de 7 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	23	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	06/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	7 DÍAS	ÁREA (mm²):		17907,86	
DIÁMETRO (mm):	151,00	Carga de Rotura (kg):		29583,70	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		16,52	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σr (Mpa):		6,61	
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 24 MPa EDAD 7 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	4,5	11,43	0,57	38,10
2	2000	8,5	21,59	1,13	71,97
3	3000	12,5	31,75	1,70	105,83
4	4000	16,5	41,91	2,26	139,70
5	5000	20,5	52,07	2,83	173,57
6	6000	24,5	62,23	3,40	207,43
7	7000	28,5	72,39	3,96	241,30
8	8000	32,5	82,55	4,53	275,17
9	9000	36,5	92,71	5,09	309,03
10	10000	41,0	104,14	5,66	347,13
11	11000	45,5	115,57	6,23	385,23
12	12000	50,0	127,00	6,79	423,33
13	13000	56,0	142,24	7,36	474,13
14	14000	61,0	154,94	7,92	516,47
15	15000	66,0	167,64	8,49	558,80

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 6,61$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,74$$

$$\varepsilon_{0.4\sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 410$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4\sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 16305,6 \text{ Mpa}$$

Gráfico 28: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 23 $f'_c = 24$ MPa de 7 días

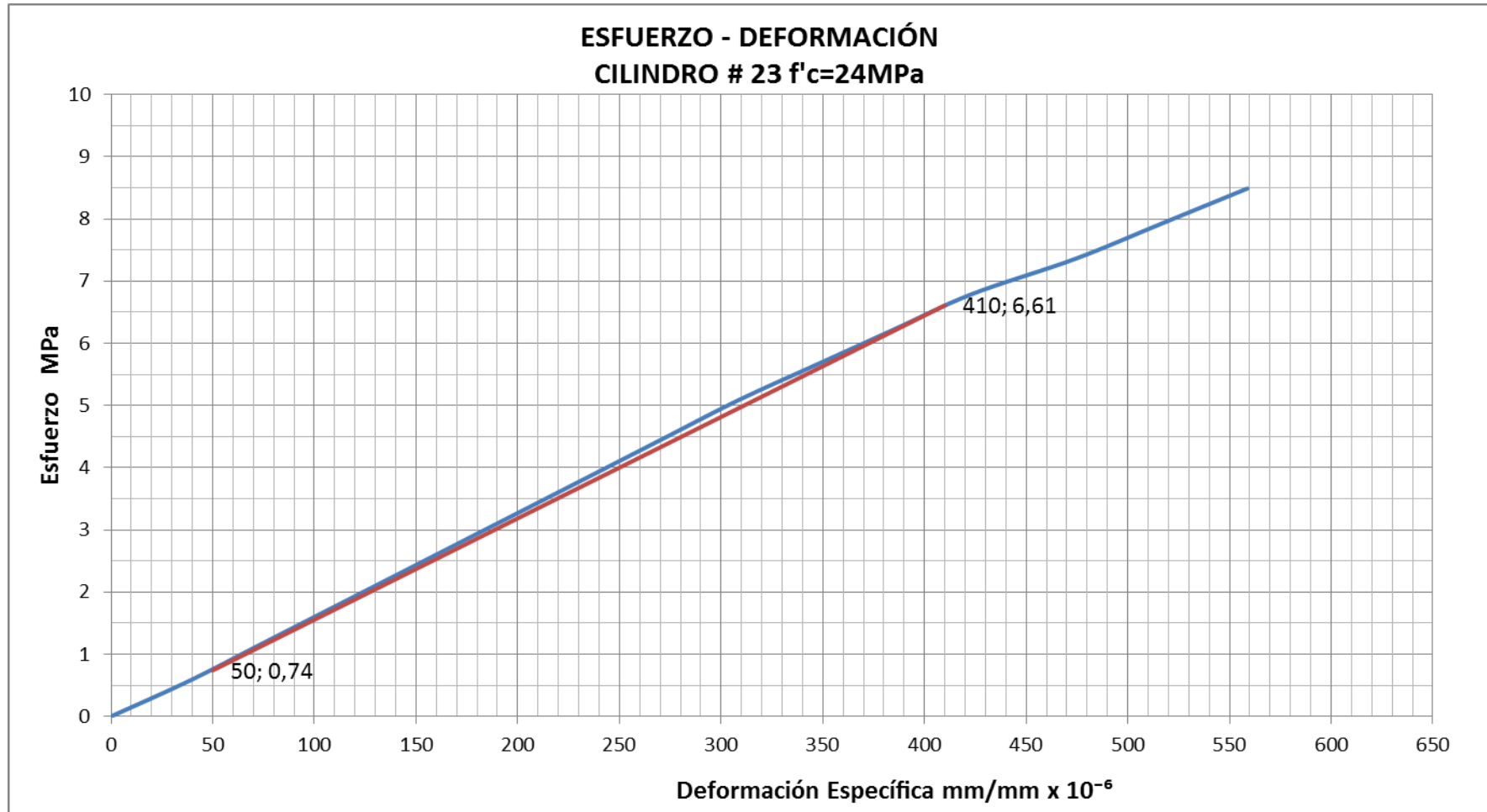


Tabla 75: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 24 f'c= 24 MPa de 7 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	24	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	06/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	7 DÍAS	ÁREA (mm²):		17436,62	
DIÁMETRO (mm):	149,00	Carga de Rotura (kg):		29197,20	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		16,74	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σr (Mpa):		6,70	
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 24 MPa EDAD 7 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	4,0	10,16	0,57	33,87
2	2000	8,5	21,59	1,13	71,97
3	3000	12,5	31,75	1,70	105,83
4	4000	16,5	41,91	2,26	139,70
5	5000	20,5	52,07	2,83	173,57
6	6000	24,5	62,23	3,40	207,43
7	7000	28,5	72,39	3,96	241,30
8	8000	32,5	82,55	4,53	275,17
9	9000	36,5	92,71	5,09	309,03
10	10000	40,5	102,87	5,66	342,90
11	11000	45,0	114,30	6,23	381,00
12	12000	49,5	125,73	6,79	419,10
13	13000	55,0	139,70	7,36	465,67
14	14000	61,0	154,94	7,92	516,47
15	15000	67,0	170,18	8,49	567,27

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 6,70$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,77$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 412$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 16381,2 \text{ Mpa}$$

Gráfico 29: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 24 $f'_c = 24$ MPa de 7 días

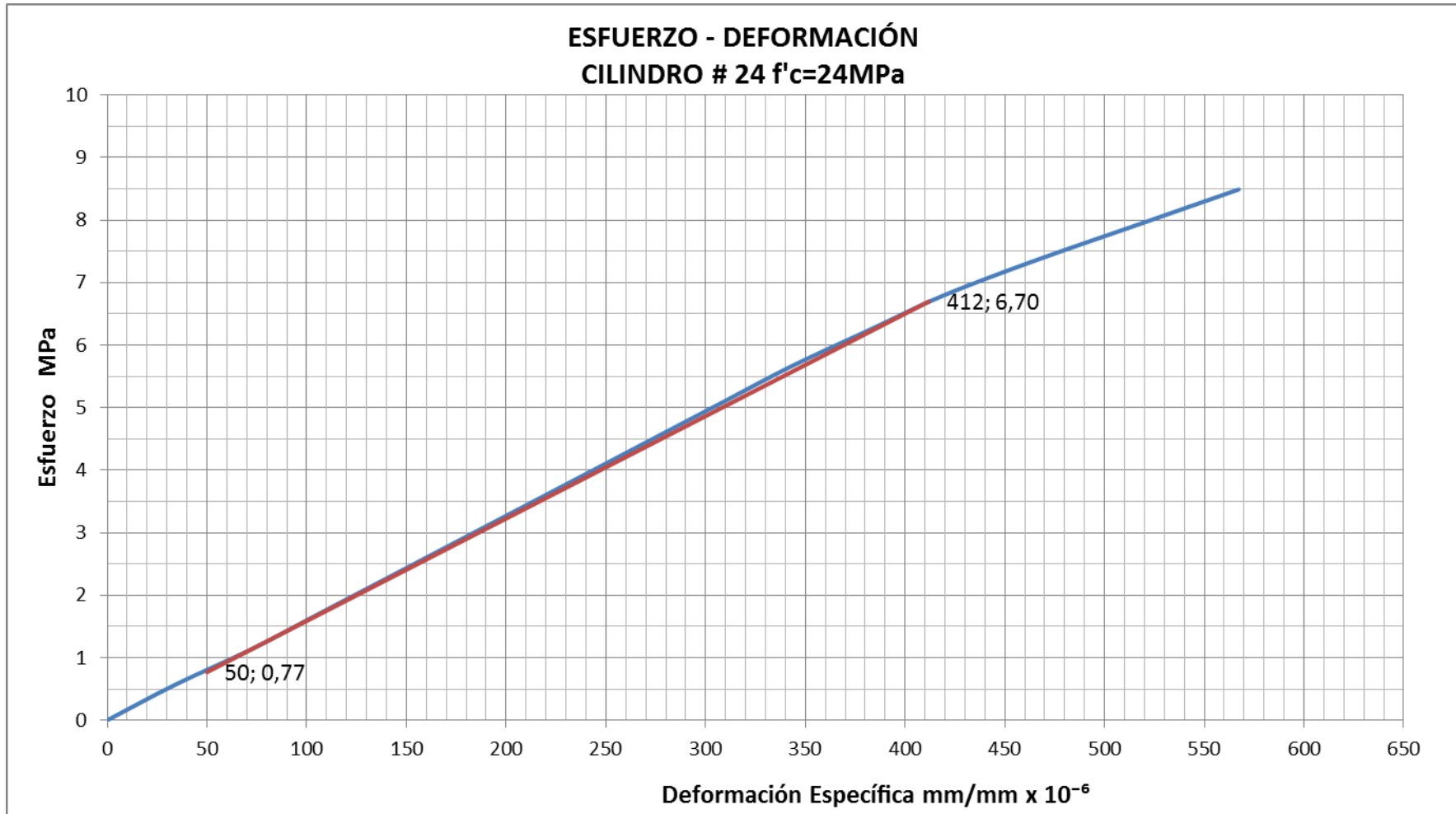


Tabla 76: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 1 f'c= 24 MPa de 14 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	1			Lo (mm) :	150,00
FECHA DE ENSAYO:	13/06/2013			L (mm) :	300,00
EDAD:	14 DÍAS			ÁREA (mm²):	17907,86
DIÁMETRO (mm):	151,00			Carga de Rotura (kg):	35189,20
MATERIAL:	HORMIGÓN			Resistencia Máxima (Mpa):	19,65
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA			40%σr (Mpa):	7,86
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 24 MPa EDAD 14 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	4,0	10,16	0,57	33,87
2	2000	8,0	20,32	1,13	67,73
3	3000	11,0	27,94	1,70	93,13
4	4000	14,0	35,56	2,26	118,53
5	5000	17,0	43,18	2,83	143,93
6	6000	20,0	50,80	3,40	169,33
7	7000	24,0	60,96	3,96	203,20
8	8000	27,0	68,58	4,53	228,60
9	9000	30,5	77,47	5,09	258,23
10	10000	34,0	86,36	5,66	287,87
11	11000	38,5	97,79	6,23	325,97
12	12000	43,0	109,22	6,79	364,07
13	13000	47,0	119,38	7,36	397,93
14	14000	51,0	129,54	7,92	431,80
15	15000	55,0	139,70	8,49	465,67
16	16000	59,5	151,13	9,06	503,77
17	17000	64,0	162,56	9,62	541,87
18	18000	68,5	173,99	10,19	579,97

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 7,86$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,83$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 429$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 18548,8 \text{ Mpa}$$

Gráfico 30: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 1 $f'_c = 24 \text{ MPa}$ de 14 días

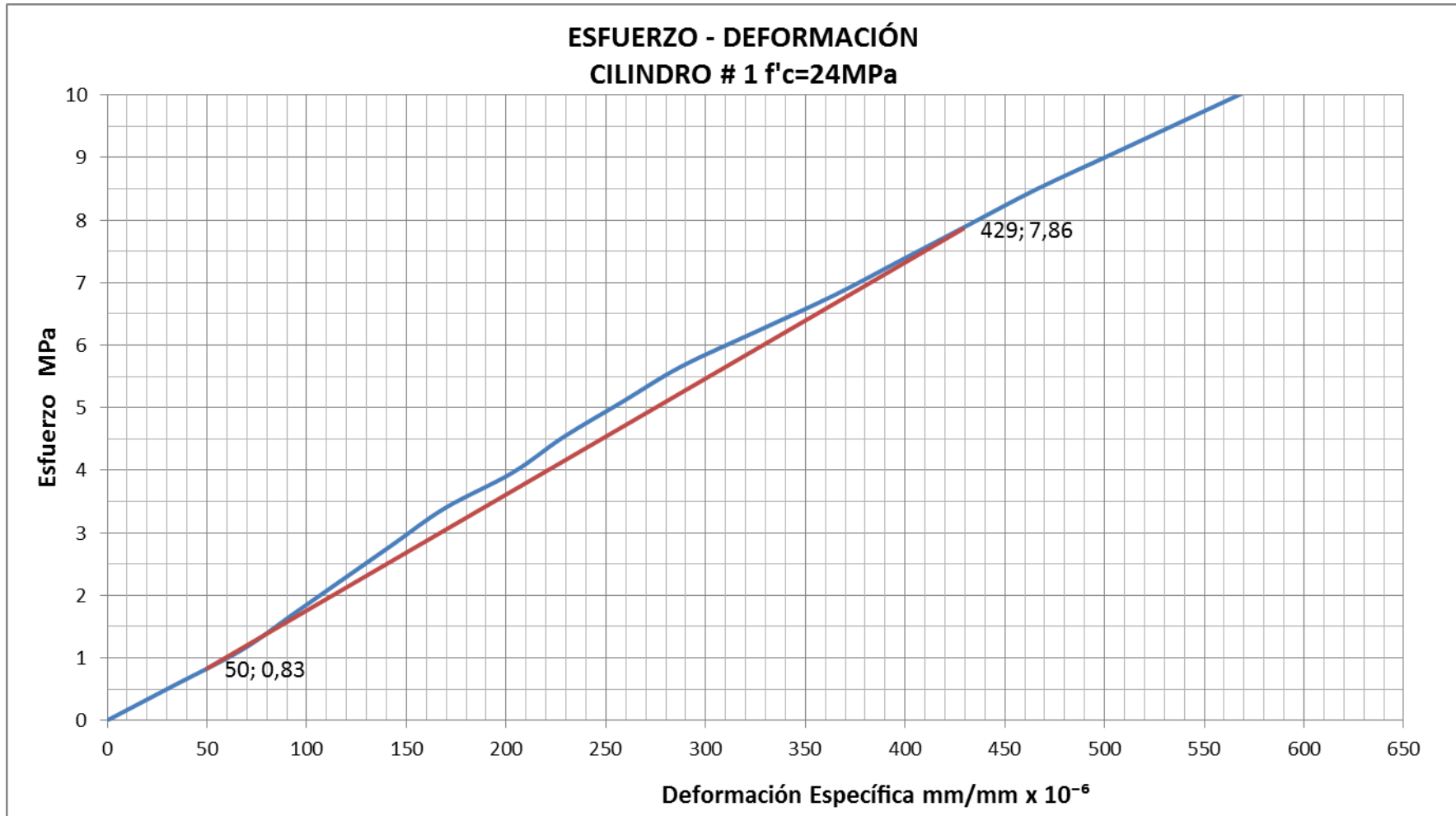


Tabla 77: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 3 f'c= 24 MPa de 14 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	3	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	13/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	14 DÍAS	ÁREA (mm²):		17907,86	
DIÁMETRO (mm):	151,00	Carga de Rotura (kg):		35327,80	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		19,72	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σr (Mpa):		7,89	
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 24 MPa EDAD 14 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	4,0	10,16	0,57	33,87
2	2000	8,0	20,32	1,13	67,73
3	3000	11,0	27,94	1,70	93,13
4	4000	14,0	35,56	2,26	118,53
5	5000	17,0	43,18	2,83	143,93
6	6000	21,0	53,34	3,40	177,80
7	7000	25,0	63,50	3,96	211,67
8	8000	28,5	72,39	4,53	241,30
9	9000	32,0	81,28	5,09	270,93
10	10000	35,5	90,17	5,66	300,57
11	11000	39,0	99,06	6,23	330,20
12	12000	42,5	107,95	6,79	359,83
13	13000	46,0	116,84	7,36	389,47
14	14000	50,5	128,27	7,92	427,57
15	15000	54,5	138,43	8,49	461,43
16	16000	59,0	149,86	9,06	499,53
17	17000	64,0	162,56	9,62	541,87
18	18000	68,5	173,99	10,19	579,97

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 7,89$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,82$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 426$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 18803,2 \text{ Mpa}$$

Gráfico 31: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 3 $f'_c=24$ MPa de 14 días

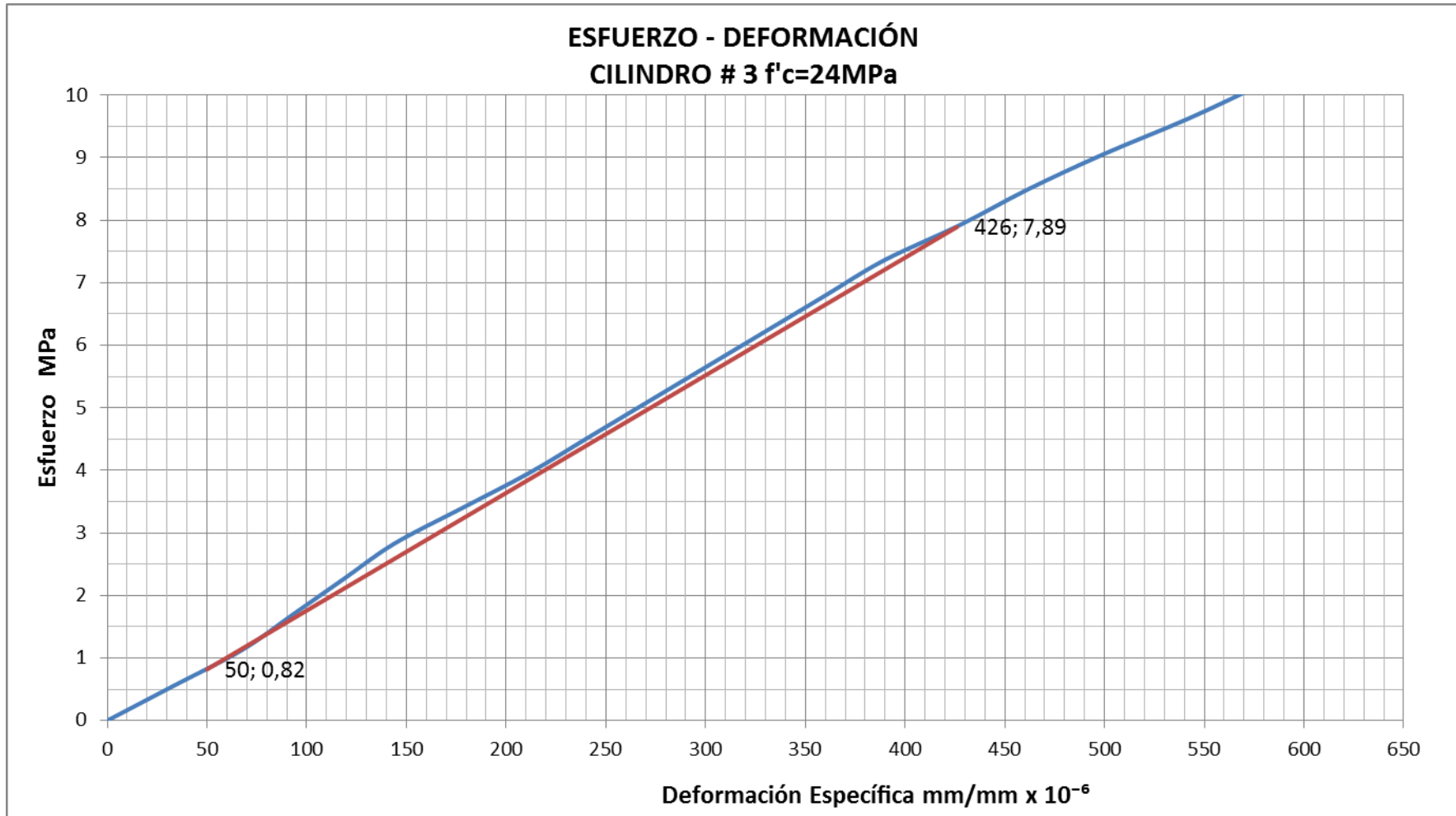


Tabla 78: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 7 $f'_c = 24$ MPa de 14 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	7	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	13/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	14 DÍAS	ÁREA (mm²):		17671,46	
DIÁMETRO (mm):	150,00	Carga de Rotura (kg):		34993,60	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		19,80	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ_r (Mpa):		7,92	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c = 24$ MPa EDAD 14 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,5	8,89	0,57	29,63
2	2000	7,5	19,05	1,13	63,50
3	3000	10,0	25,40	1,70	84,67
4	4000	14,0	35,56	2,26	118,53
5	5000	17,5	44,45	2,83	148,17
6	6000	20,5	52,07	3,40	173,57
7	7000	24,5	62,23	3,96	207,43
8	8000	28,5	72,39	4,53	241,30
9	9000	32,0	81,28	5,09	270,93
10	10000	35,5	90,17	5,66	300,57
11	11000	39,0	99,06	6,23	330,20
12	12000	42,5	107,95	6,79	359,83
13	13000	46,0	116,84	7,36	389,47
14	14000	50,5	128,27	7,92	427,57
15	15000	54,5	138,43	8,49	461,43
16	16000	59,0	149,86	9,06	499,53
17	17000	64,0	162,56	9,62	541,87
18	18000	68,5	173,99	10,19	579,97

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 7,92$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,89$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 428$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 18597,9 \text{ Mpa}$$

Gráfico 32: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 7 $f'_c = 24 \text{ MPa}$ de 14 días

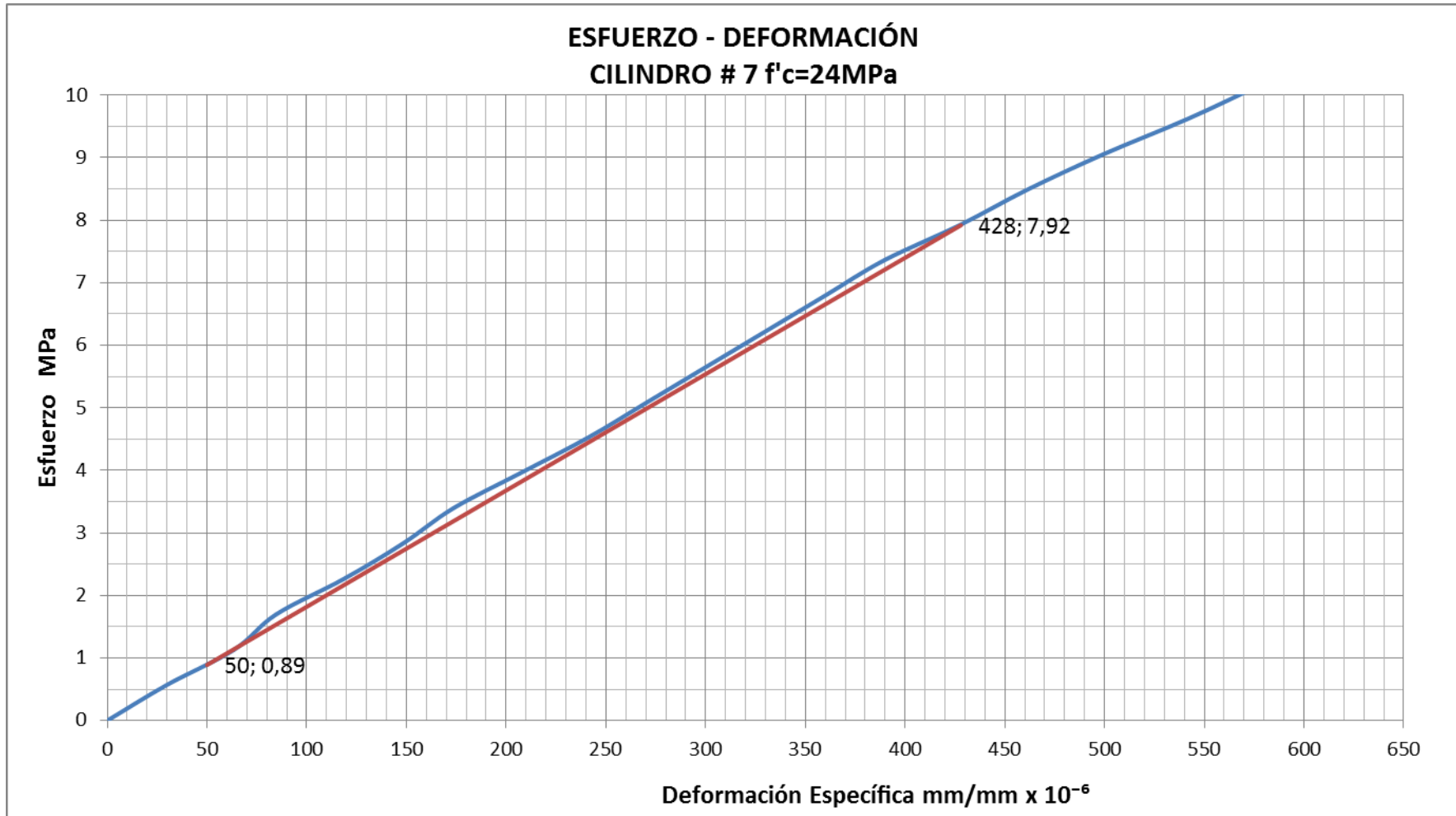


Tabla 79: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 12 $f'_c = 24$ MPa de 21 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	12	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	20/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	21 DÍAS	ÁREA (mm²):		17907,86	
DIÁMETRO (mm):	151,00	Carga de Rotura (kg):		40556,20	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		22,65	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ_r (Mpa):		9,06	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c = 24$ MPa EDAD 21 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	4,0	10,16	0,57	33,87
2	2000	8,0	20,32	1,13	67,73
3	3000	10,5	26,67	1,70	88,90
4	4000	14,0	35,56	2,26	118,53
5	5000	17,5	44,45	2,83	148,17
6	6000	21,0	53,34	3,40	177,80
7	7000	24,5	62,23	3,96	207,43
8	8000	28,0	71,12	4,53	237,07
9	9000	31,5	80,01	5,09	266,70
10	10000	35,0	88,90	5,66	296,33
11	11000	38,0	96,52	6,23	321,73
12	12000	41,0	104,14	6,79	347,13
13	13000	44,0	111,76	7,36	372,53
14	14000	48,0	121,92	7,92	406,40
15	15000	52,0	132,08	8,49	440,27
16	16000	56,0	142,24	9,06	474,13
17	17000	60,0	152,40	9,62	508,00
18	18000	64,0	162,56	10,19	541,87
19	19000	68,5	173,99	10,75	579,97
20	20000	73,0	185,42	11,32	618,07

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 9,06$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,82$$

$$\varepsilon_{0,4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 474$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{máx})} - 0.00005}$$

$$E_c = 19434,0 \text{ Mpa}$$

Gráfico 33: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 12 $f'_c = 24$ MPa de 21 días

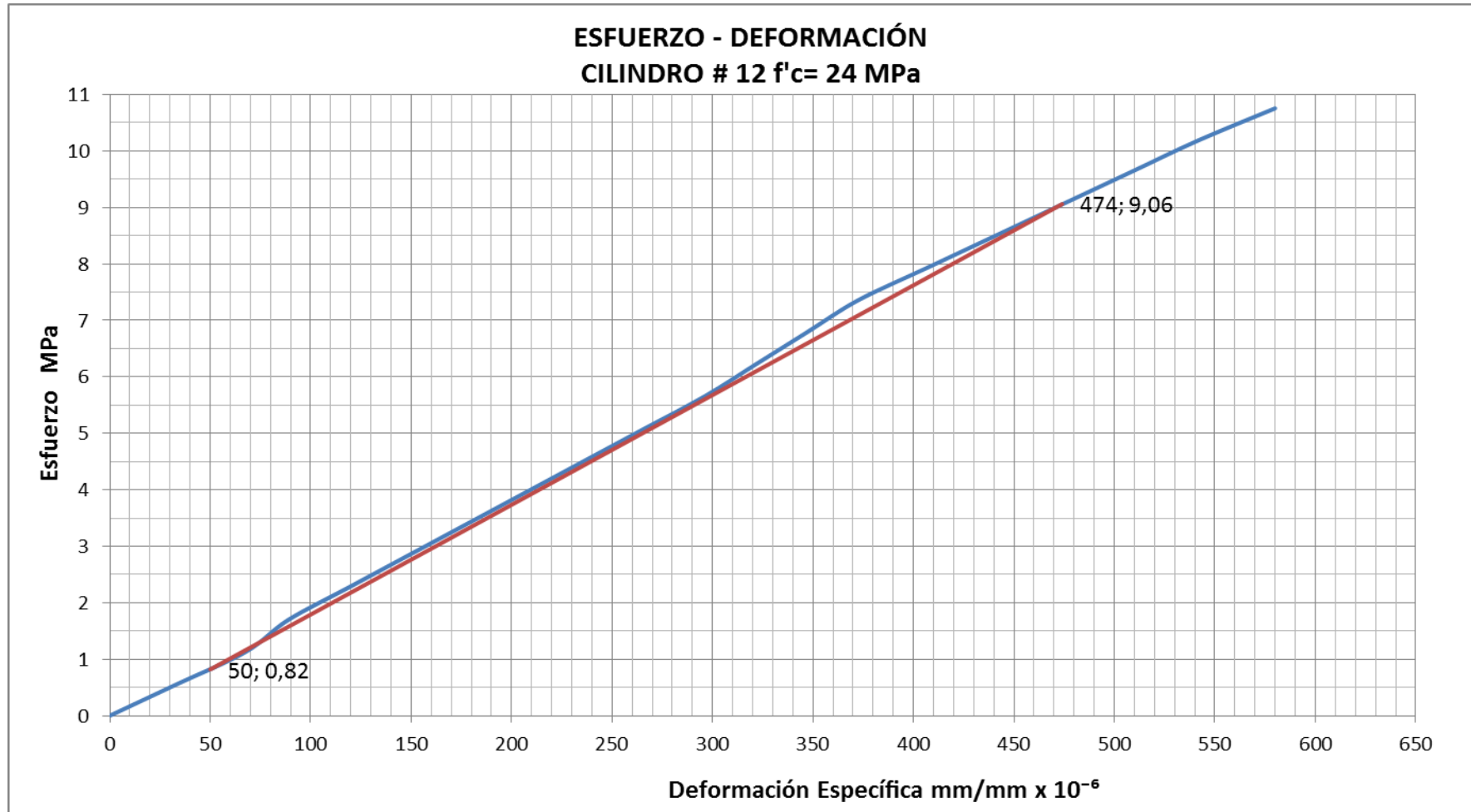


Tabla 80: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 13 $f'_c = 24$ MPa de 21 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	13	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	20/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	21 DÍAS	ÁREA (mm²):		17203,36	
DIÁMETRO (mm):	148,00	Carga de Rotura (kg):		39049,10	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		22,70	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ_r (Mpa):		9,08	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c = 24$ MPa EDAD 21 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1 μ g x 10 ⁻⁴	1mm x 10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	4,0	10,16	0,57	33,87
2	2000	8,0	20,32	1,13	67,73
3	3000	11,0	27,94	1,70	93,13
4	4000	14,0	35,56	2,26	118,53
5	5000	17,5	44,45	2,83	148,17
6	6000	21,0	53,34	3,40	177,80
7	7000	24,5	62,23	3,96	207,43
8	8000	28,0	71,12	4,53	237,07
9	9000	31,5	80,01	5,09	266,70
10	10000	35,0	88,90	5,66	296,33
11	11000	38,0	96,52	6,23	321,73
12	12000	41,0	104,14	6,79	347,13
13	13000	44,5	113,03	7,36	376,77
14	14000	48,5	123,19	7,92	410,63
15	15000	51,5	130,81	8,49	436,03
16	16000	55,5	140,97	9,06	469,90
17	17000	59,5	151,13	9,62	503,77
18	18000	63,0	160,02	10,19	533,40
19	19000	68,0	172,72	10,75	575,73
20	20000	72,5	184,15	11,32	613,83

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 9,08$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,82$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 471$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 19620,0 \text{ Mpa}$$

Gráfico 34: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 13 $f'_c = 24$ MPa de 21 días

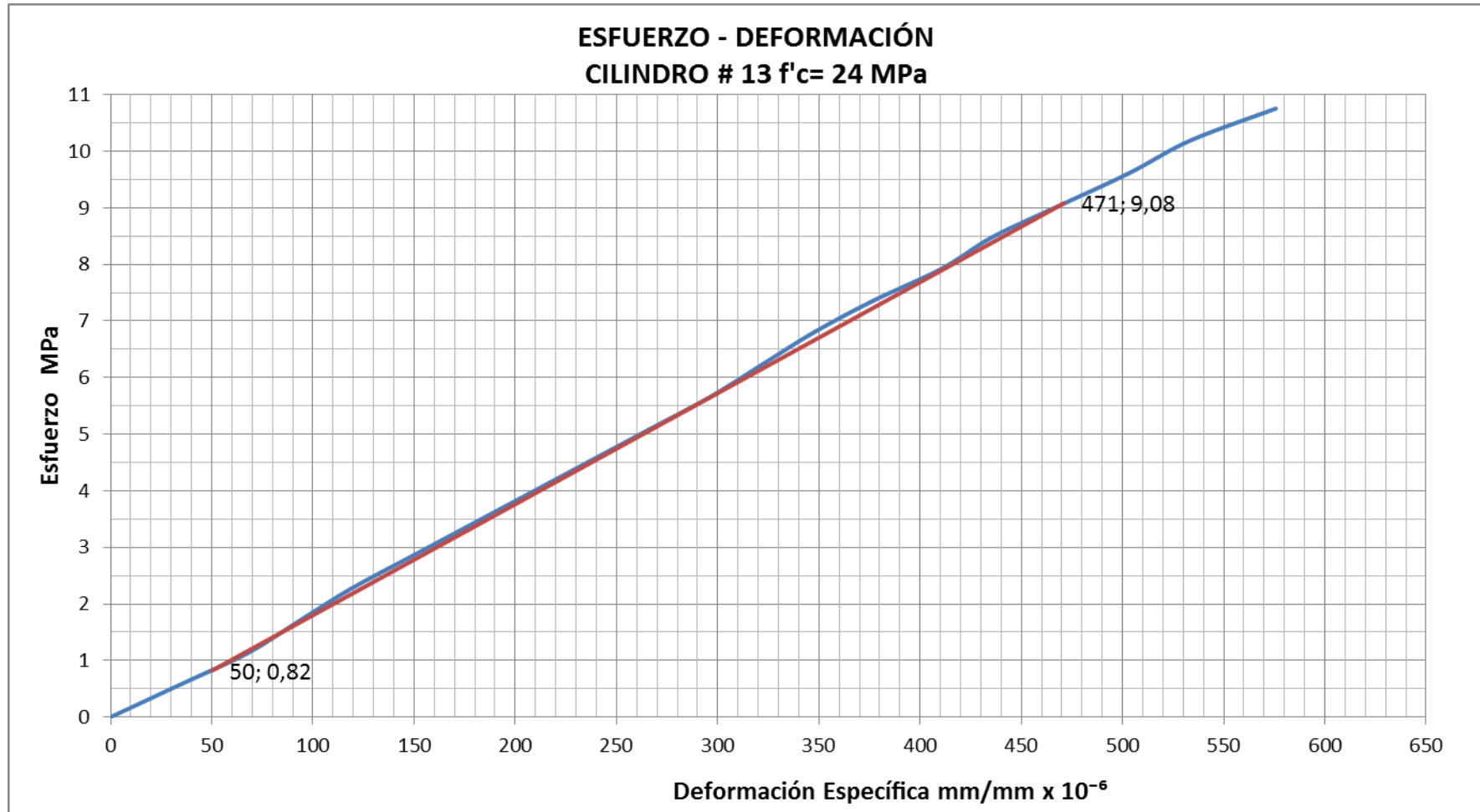


Tabla 81: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 14 $f'_c = 24$ MPa de 21 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	14	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	20/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	21 DÍAS	ÁREA (mm²):		17436,62	
DIÁMETRO (mm):	149,00	Carga de Rotura (kg):		39631,40	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		22,73	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ_r (Mpa):		9,09	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c = 24$ MPa EDAD 21 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1 μ g x 10 ⁻⁴	1mm x 10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,5	8,89	0,57	29,63
2	2000	7,5	19,05	1,13	63,50
3	3000	11,0	27,94	1,70	93,13
4	4000	14,0	35,56	2,26	118,53
5	5000	17,5	44,45	2,83	148,17
6	6000	21,0	53,34	3,40	177,80
7	7000	24,5	62,23	3,96	207,43
8	8000	28,0	71,12	4,53	237,07
9	9000	31,5	80,01	5,09	266,70
10	10000	35,0	88,90	5,66	296,33
11	11000	38,0	96,52	6,23	321,73
12	12000	41,0	104,14	6,79	347,13
13	13000	45,0	114,30	7,36	381,00
14	14000	49,0	124,46	7,92	414,87
15	15000	52,0	132,08	8,49	440,27
16	16000	56,0	142,24	9,06	474,13
17	17000	59,5	151,13	9,62	503,77
18	18000	63,5	161,29	10,19	537,63
19	19000	68,0	172,72	10,75	575,73
20	20000	72,5	184,15	11,32	613,83

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 9,09$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,89$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 475$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{máx})} - 0.00005}$$

$$E_c = 19294,1 \text{ Mpa}$$

Gráfico 35: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 14 $f'_c = 24$ MPa de 21 días

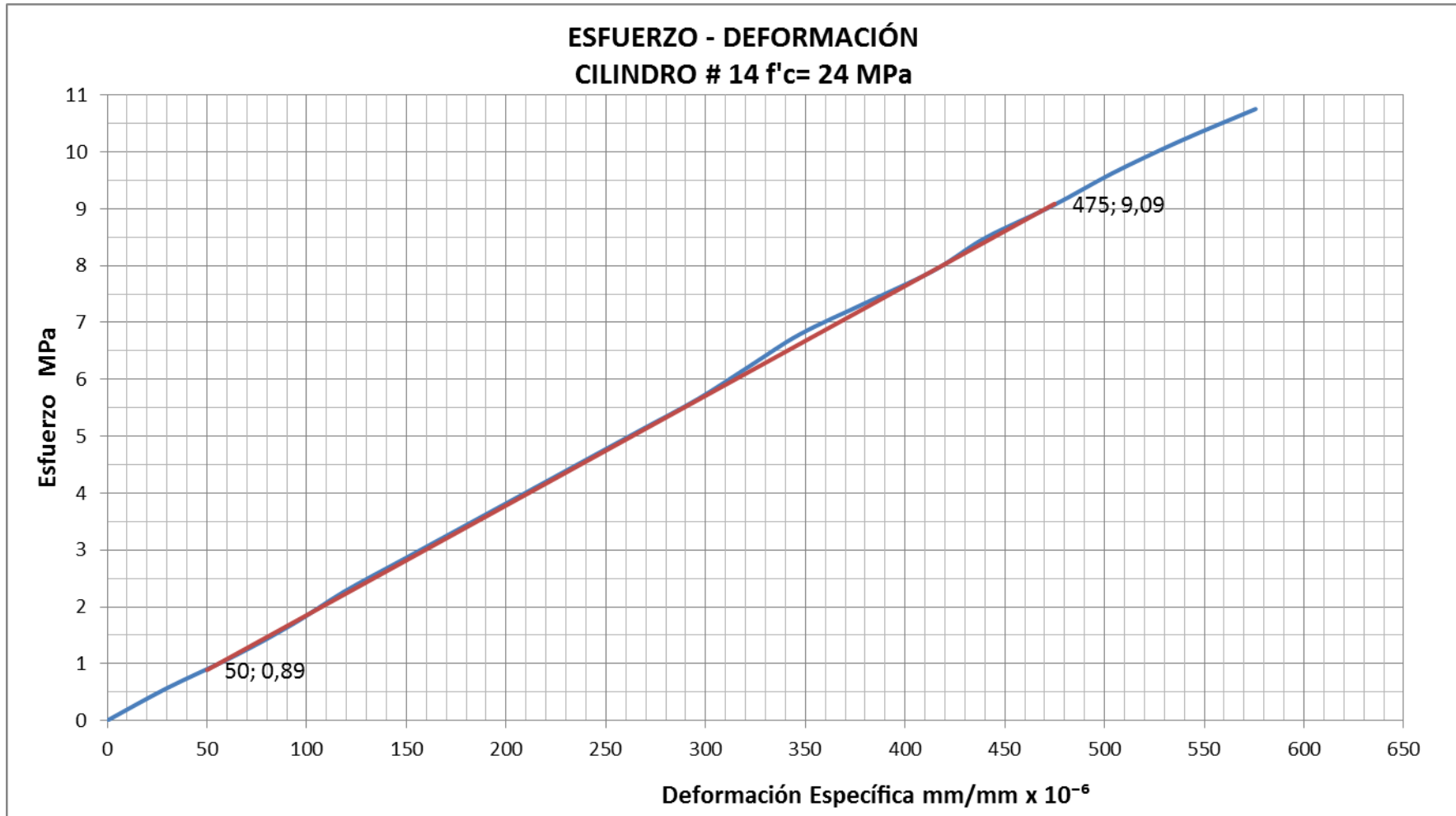


Tabla 82: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 9 $f'_c= 24$ MPa de 28 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	9	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	27/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	28 DÍAS	ÁREA (mm²):		17907,86	
DIÁMETRO (mm):	151,00	Carga de Rotura (kg):		42973,50	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		23,99	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ (Mpa):		9,60	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c= 24$ MPa EDAD 28 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,0	7,62	0,56	25,40
2	2000	6,0	15,24	1,12	50,80
3	3000	9,0	22,86	1,68	76,20
4	4000	12,0	30,48	2,23	101,60
5	5000	15,0	38,10	2,79	127,00
6	6000	18,0	45,72	3,35	152,40
7	7000	21,5	54,61	3,91	182,03
8	8000	25,0	63,50	4,47	211,67
9	9000	28,5	72,39	5,03	241,30
10	10000	32,0	81,28	5,58	270,93
11	11000	35,5	90,17	6,14	300,57
12	12000	39,0	99,06	6,70	330,20
13	13000	42,5	107,95	7,26	359,83
14	14000	46,0	116,84	7,82	389,47
15	15000	49,5	125,73	8,38	419,10
16	16000	53,0	134,62	8,93	448,73
17	17000	56,5	143,51	9,49	478,37
18	18000	60,0	152,40	10,05	508,00
19	19000	63,5	161,29	10,61	537,63
20	20000	67,0	170,18	11,17	567,27
21	21000	71,0	180,34	11,73	601,13
22	22000	75,0	190,50	12,29	635,00
23	23000	79,0	200,66	12,84	668,87
24	24000	83,0	210,82	13,40	702,73
25	25000	87,5	222,25	13,96	740,83

26	26000	92,0	233,68	14,52	778,93
27	27000	96,5	245,11	15,08	817,03
28	28000	101,0	256,54	15,64	855,13
29	29000	105,5	267,97	16,19	893,23
30	30000	110,0	279,40	16,75	931,33
31	31000	114,5	290,83	17,31	969,43
32	32000	119,0	302,26	17,87	1007,53
33	33000	124,0	314,96	18,43	1049,87
34	34000	129,0	327,66	18,99	1092,20
35	35000	134,0	340,36	19,54	1134,53
36	36000	139,0	353,06	20,10	1176,87
37	37000	145,0	368,30	20,66	1227,67
38	38000	151,5	384,81	21,22	1282,70
39	39000	160,0	406,40	21,78	1354,67
40	40000	170,0	431,80	22,34	1439,33
41	41000	182,0	462,28	22,89	1540,93
42	42000	200,0	508,00	23,45	1693,33
43	42974	240,0	609,60	24,00	2032,00
44	42500	270,0	685,8	23,73	2286,00
45	41500	300,0	762,00	23,17	2540,00
46	40000	330,0	838,2	22,34	2794,00
47	38500	360,0	914,40	21,50	3048,00
48	36000	390,0	990,60	20,10	3302,00
49	34500	405,0	1028,70	19,27	3429,00

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 9,60$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 1,1$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} 1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm} = 478$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = \mathbf{19859,8 \text{ Mpa}}$$

Gráfico 36: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 9 $f'_c = 24$ MPa de 28 días

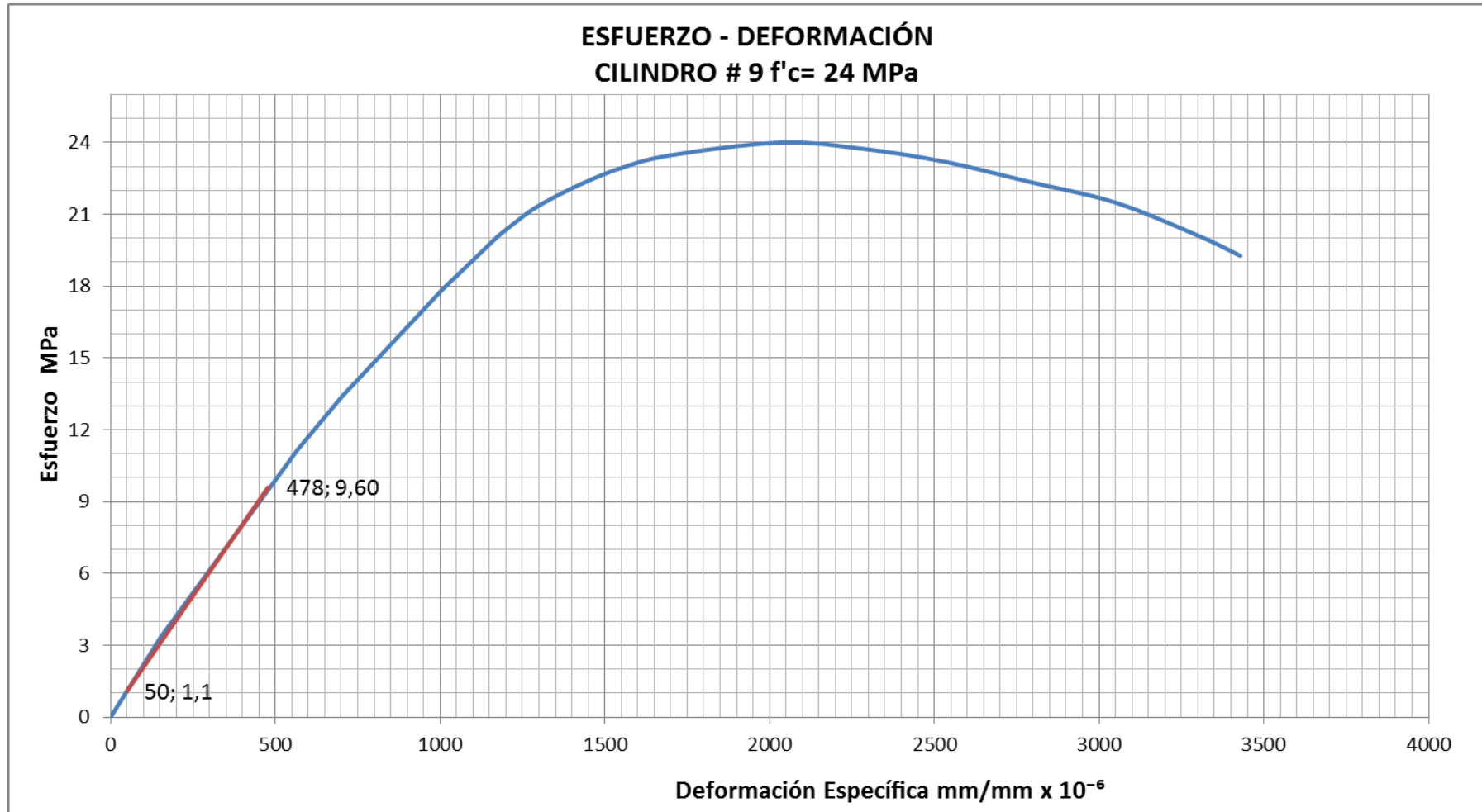


Tabla 83: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 17 $f'_c = 24$ MPa de 28 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	17			Lo (mm) :	150,00
FECHA DE ENSAYO:	27/06/2013			L (mm) :	300,00
EDAD:	28 DÍAS			ÁREA (mm²):	17907,86
DIÁMETRO (mm):	151,00			Carga de Rotura (kg):	42765,70
MATERIAL:	HORMIGÓN			Resistencia Máxima (Mpa):	23,88
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA			40%σ (Mpa):	9,55
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c = 24$ MPa EDAD 28 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plu $\times 10^{-4}$	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,5	8,89	0,56	29,63
2	2000	6,5	16,51	1,12	55,03
3	3000	9,5	24,13	1,68	80,43
4	4000	13,0	33,02	2,23	110,07
5	5000	15,5	39,37	2,79	131,23
6	6000	18,5	46,99	3,35	156,63
7	7000	22,0	55,88	3,91	186,27
8	8000	24,0	60,96	4,47	203,20
9	9000	28,5	72,39	5,03	241,30
10	10000	32,5	82,55	5,58	275,17
11	11000	36,0	91,44	6,14	304,80
12	12000	39,5	100,33	6,70	334,43
13	13000	42,5	107,95	7,26	359,83
14	14000	46,0	116,84	7,82	389,47
15	15000	49,5	125,73	8,38	419,10
16	16000	53,0	134,62	8,93	448,73
17	17000	56,5	143,51	9,49	478,37
18	18000	60,0	152,40	10,05	508,00
19	19000	63,5	161,29	10,61	537,63
20	20000	66,0	167,64	11,17	558,80
21	21000	70,0	177,80	11,73	592,67
22	22000	74,0	187,96	12,29	626,53
23	23000	78,0	198,12	12,84	660,40
24	24000	82,0	208,28	13,40	694,27
25	25000	86,5	219,71	13,96	732,37

26	26000	91,0	231,14	14,52	770,47
27	27000	95,5	242,57	15,08	808,57
28	28000	100,0	254,00	15,64	846,67
29	29000	104,5	265,43	16,19	884,77
30	30000	109,0	276,86	16,75	922,87
31	31000	113,5	288,29	17,31	960,97
32	32000	118,0	299,72	17,87	999,07
33	33000	123,0	312,42	18,43	1041,40
34	34000	128,0	325,12	18,99	1083,73
35	35000	133,0	337,82	19,54	1126,07
36	36000	138,0	350,52	20,10	1168,40
37	37000	144,0	365,76	20,66	1219,20
38	38000	150,0	381,00	21,22	1270,00
39	39000	158,5	402,59	21,78	1341,97
40	40000	169,0	429,26	22,34	1430,87
41	41000	181,5	461,01	22,89	1536,70
42	42000	198,0	502,92	23,45	1676,40
43	42766	238,0	604,52	23,88	2015,07
44	42500	267,0	678,18	23,73	2260,60
45	41500	297,0	754,38	23,17	2514,60
46	40000	328,0	833,12	22,34	2777,07
47	38500	357,0	906,78	21,50	3022,60
48	36000	386,0	980,44	20,10	3268,13
49	34500	402,0	1021,08	19,27	3403,60

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$\begin{aligned}
 40\% \sigma_r \text{ (MPa)} &= 9,55 \\
 \sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} &= 0,98 \\
 \varepsilon_{0,4 \sigma_r} 1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm} &= 480
 \end{aligned}$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = \mathbf{19930,2 \text{ Mpa}}$$

Gráfico 37: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 17 $f'_c = 24$ MPa de 28 días

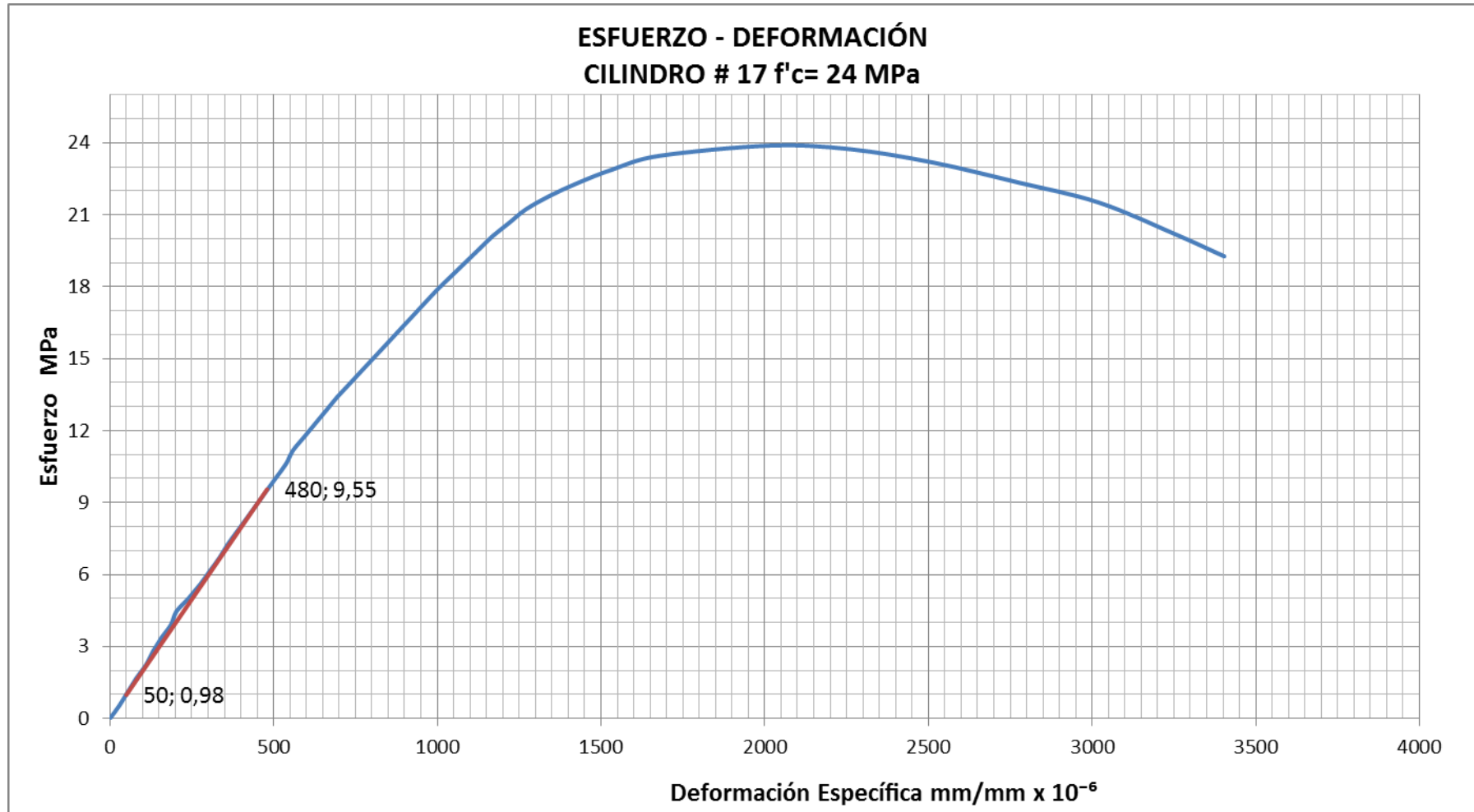


Tabla 84: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 20 $f'_c = 24$ MPa de 28 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	20	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	27/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	28 DÍAS	ÁREA (mm²):		18145,84	
DIÁMETRO (mm):	152,00	Carga de Rotura (kg):		43196,80	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		23,81	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ (Mpa):		9,52	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c = 24$ MPa EDAD 28 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plu $\times 10^{-4}$	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	2,7	6,86	0,55	22,86
2	2000	5,5	13,97	1,10	46,57
3	3000	8,5	21,59	1,65	71,97
4	4000	11,0	27,94	2,20	93,13
5	5000	14,0	35,56	2,76	118,53
6	6000	18,0	45,72	3,31	152,40
7	7000	21,0	53,34	3,86	177,80
8	8000	24,0	60,96	4,41	203,20
9	9000	27,0	68,58	4,96	228,60
10	10000	30,0	76,20	5,51	254,00
11	11000	33,0	83,82	6,06	279,40
12	12000	36,0	91,44	6,61	304,80
13	13000	39,0	99,06	7,16	330,20
14	14000	42,5	107,95	7,72	359,83
15	15000	46,0	116,84	8,27	389,47
16	16000	49,5	125,73	8,82	419,10
17	17000	53,0	134,62	9,37	448,73
18	18000	56,5	143,51	9,92	478,37
19	19000	60,0	152,40	10,47	508,00
20	20000	63,5	161,29	11,02	537,63
21	21000	67,0	170,18	11,57	567,27
22	22000	70,5	179,07	12,12	596,90
23	23000	75,5	191,77	12,67	639,23
24	24000	82,0	208,28	13,23	694,27
25	25000	87,5	222,25	13,78	740,83

26	26000	91,5	232,41	14,33	774,70
27	27000	96,0	243,84	14,88	812,80
28	28000	100,5	255,27	15,43	850,90
29	29000	105,0	266,70	15,98	889,00
30	30000	111,0	281,94	16,53	939,80
31	31000	115,0	292,10	17,08	973,67
32	32000	120,0	304,80	17,63	1016,00
33	33000	125,0	317,50	18,19	1058,33
34	34000	130,0	330,20	18,74	1100,67
35	35000	135,5	344,17	19,29	1147,23
36	36000	140,0	355,60	19,84	1185,33
37	37000	146,0	370,84	20,39	1236,13
38	38000	152,0	386,08	20,94	1286,93
39	39000	162,0	411,48	21,49	1371,60
40	40000	172,0	436,88	22,04	1456,27
41	41000	184,0	467,36	22,59	1557,87
42	42000	202,0	513,08	23,15	1710,27
43	42974	242,0	614,68	23,68	2048,93
44	42500	273,0	693,42	23,42	2311,40
45	41500	303,0	769,62	22,87	2565,40
46	40000	343,0	871,22	22,04	2904,07
47	38500	362,0	919,48	21,22	3064,93
48	36000	395,0	1003,30	19,84	3344,33
49	34500	408,0	1036,32	19,01	3454,40

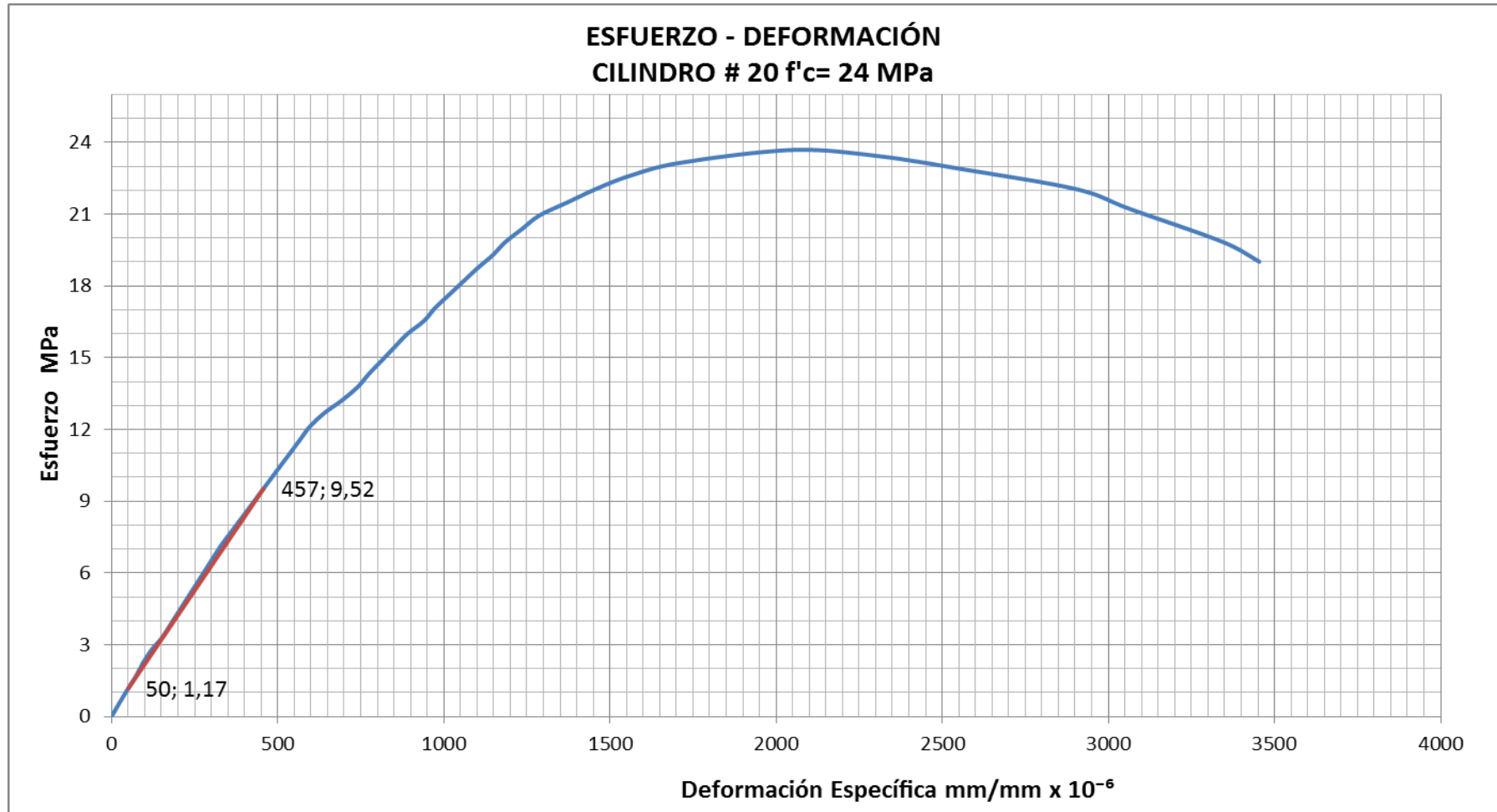
CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$\begin{aligned}
 40\% \sigma_r \text{ (MPa)} &= 9,52 \\
 \sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} &= 1,17 \\
 \varepsilon_{0.4\sigma_r} \times 10^{-6} \text{ mm/mm} &= 457
 \end{aligned}$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4\sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = \mathbf{20516,0 \text{ Mpa}}$$

Gráfico 38: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 20 $f'_c = 24$ MPa de 28 días



6.7.6.3 Módulo de Elasticidad Estático para un hormigón de 280 kg/cm²

Tabla 85: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 3 f'c= 28 MPa de 7 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	3	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	07/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	7 DÍAS	ÁREA (mm²):		17907,86	
DIÁMETRO (mm):	151,00	Carga de Rotura (kg):		34835,40	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		19,45	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σr (Mpa):		7,78	
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 28 MPa EDAD 7 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,5	8,89	0,57	29,63
2	2000	7,0	17,78	1,13	59,27
3	3000	10,5	26,67	1,70	88,90
4	4000	14,0	35,56	2,26	118,53
5	5000	17,5	44,45	2,83	148,17
6	6000	21,0	53,34	3,40	177,80
7	7000	24,5	62,23	3,96	207,43
8	8000	27,5	69,85	4,53	232,83
9	9000	31,0	78,74	5,09	262,47
10	10000	34,5	87,63	5,66	292,10
11	11000	38,5	97,79	6,23	325,97
12	12000	42,0	106,68	6,79	355,60
13	13000	46,0	116,84	7,36	389,47
14	14000	50,5	128,27	7,92	427,57
15	15000	54,5	138,43	8,49	461,43
16	16000	58,5	148,59	9,06	495,30
17	17000	62,5	158,75	9,62	529,17

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 7,78$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,96$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} \text{ (} 1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm)} = 418$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 18532,6 \text{ Mpa}$$

Gráfico 39: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 3 $f'_c=28$ MPa de 7 días

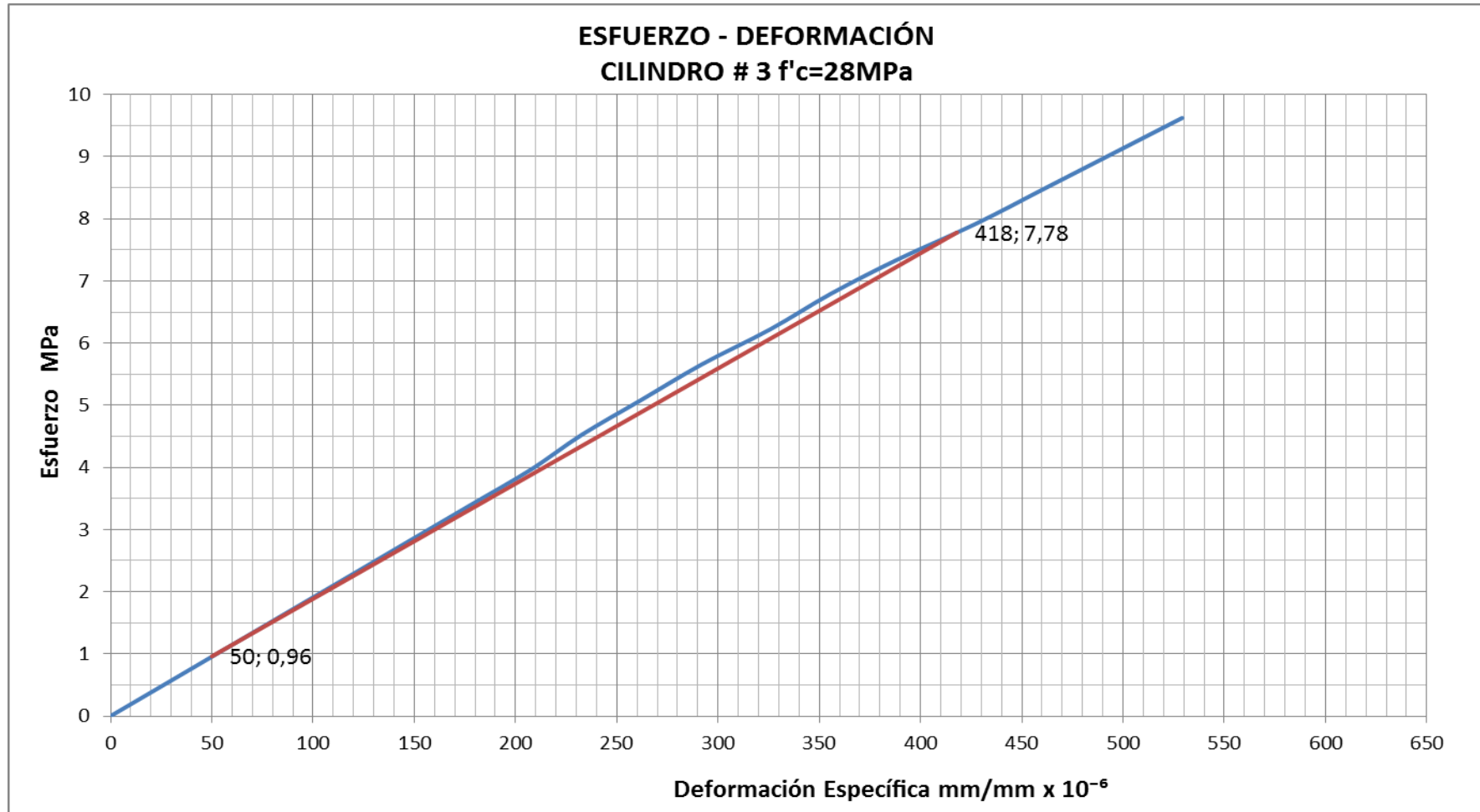


Tabla 86: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 4 $f'_c = 28$ MPa de 7 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	4	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	07/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	7 DÍAS	ÁREA (mm²):		17907,86	
DIÁMETRO (mm):	151,00	Carga de Rotura (kg):		34728,00	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		19,39	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ_r (Mpa):		7,76	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c = 28$ MPa EDAD 7 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,5	8,89	0,57	29,63
2	2000	7,0	17,78	1,13	59,27
3	3000	10,0	25,40	1,70	84,67
4	4000	13,5	34,29	2,26	114,30
5	5000	17,0	43,18	2,83	143,93
6	6000	20,5	52,07	3,40	173,57
7	7000	24,0	60,96	3,96	203,20
8	8000	28,0	71,12	4,53	237,07
9	9000	31,5	80,01	5,09	266,70
10	10000	35,0	88,90	5,66	296,33
11	11000	39,0	99,06	6,23	330,20
12	12000	42,5	107,95	6,79	359,83
13	13000	46,5	118,11	7,36	393,70
14	14000	50,5	128,27	7,92	427,57
15	15000	54,0	137,16	8,49	457,20
16	16000	58,0	147,32	9,06	491,07
17	17000	62,0	157,48	9,62	524,93

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 7,76$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,95$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 417$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 18555,9 \text{ Mpa}$$

Gráfico 40: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 4 $f'_c = 28$ MPa de 7 días

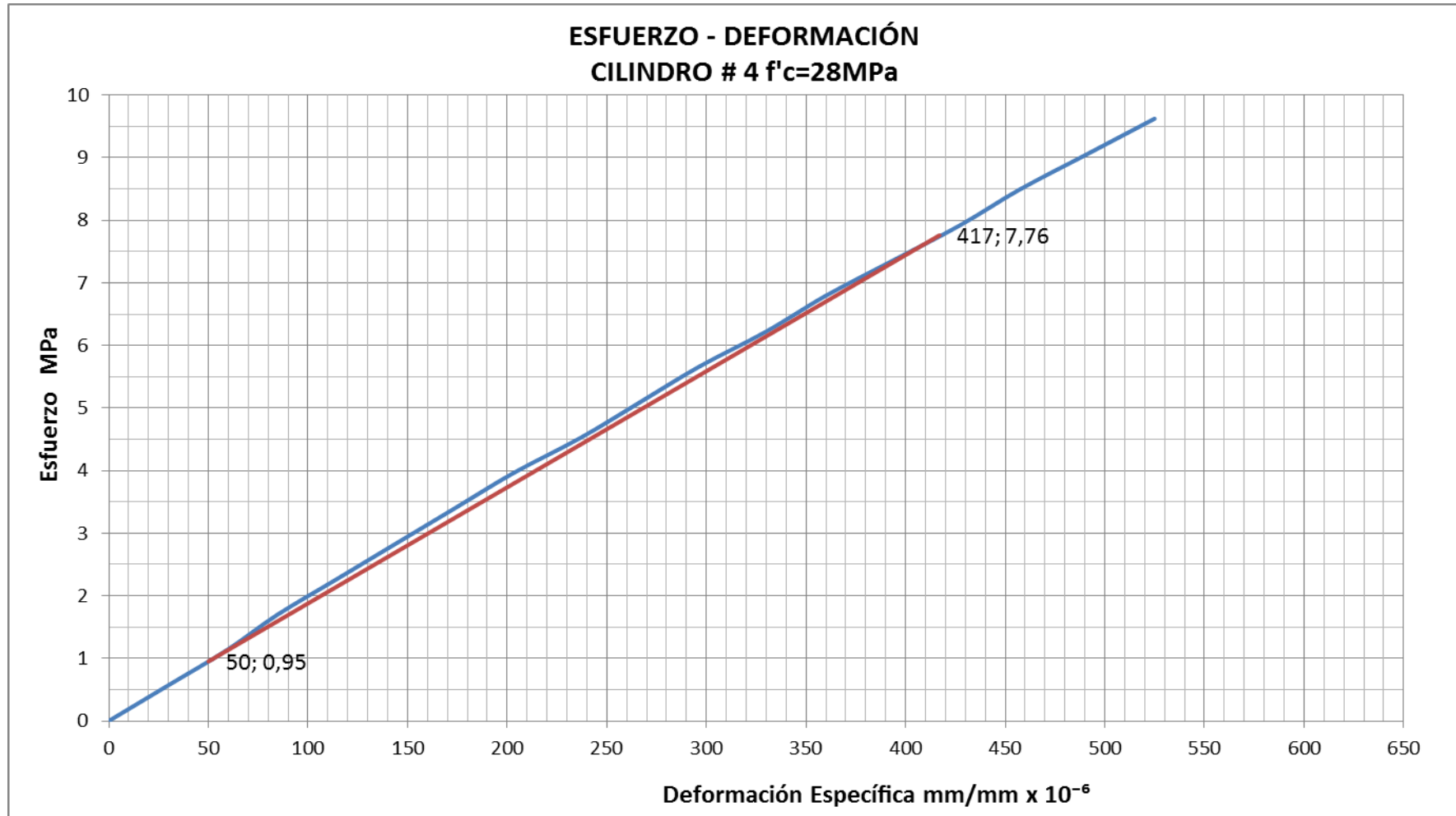


Tabla 87: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 22 f'c= 28 MPa de 7 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	22	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	07/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	7 DÍAS	ÁREA (mm²):		17907,86	
DIÁMETRO (mm):	151,00	Carga de Rotura (kg):		35063,10	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		19,58	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σr (Mpa):		7,83	
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 28 MPa EDAD 7 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,7	9,40	0,57	31,33
2	2000	7,3	18,54	1,13	61,81
3	3000	10,5	26,67	1,70	88,90
4	4000	13,5	34,29	2,26	114,30
5	5000	17,0	43,18	2,83	143,93
6	6000	20,5	52,07	3,40	173,57
7	7000	24,0	60,96	3,96	203,20
8	8000	28,0	71,12	4,53	237,07
9	9000	31,5	80,01	5,09	266,70
10	10000	35,0	88,90	5,66	296,33
11	11000	39,0	99,06	6,23	330,20
12	12000	42,5	107,95	6,79	359,83
13	13000	46,5	118,11	7,36	393,70
14	14000	51,0	129,54	7,92	431,80
15	15000	54,0	137,16	8,49	457,20
16	16000	57,5	146,05	9,06	486,83
17	17000	62,0	157,48	9,62	524,93

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 7,83$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,91$$

$$\varepsilon_{0.4\sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 426$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4\sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 18404,3 \text{ Mpa}$$

Gráfico 41: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 22 $f'_c=28$ MPa de 7 días

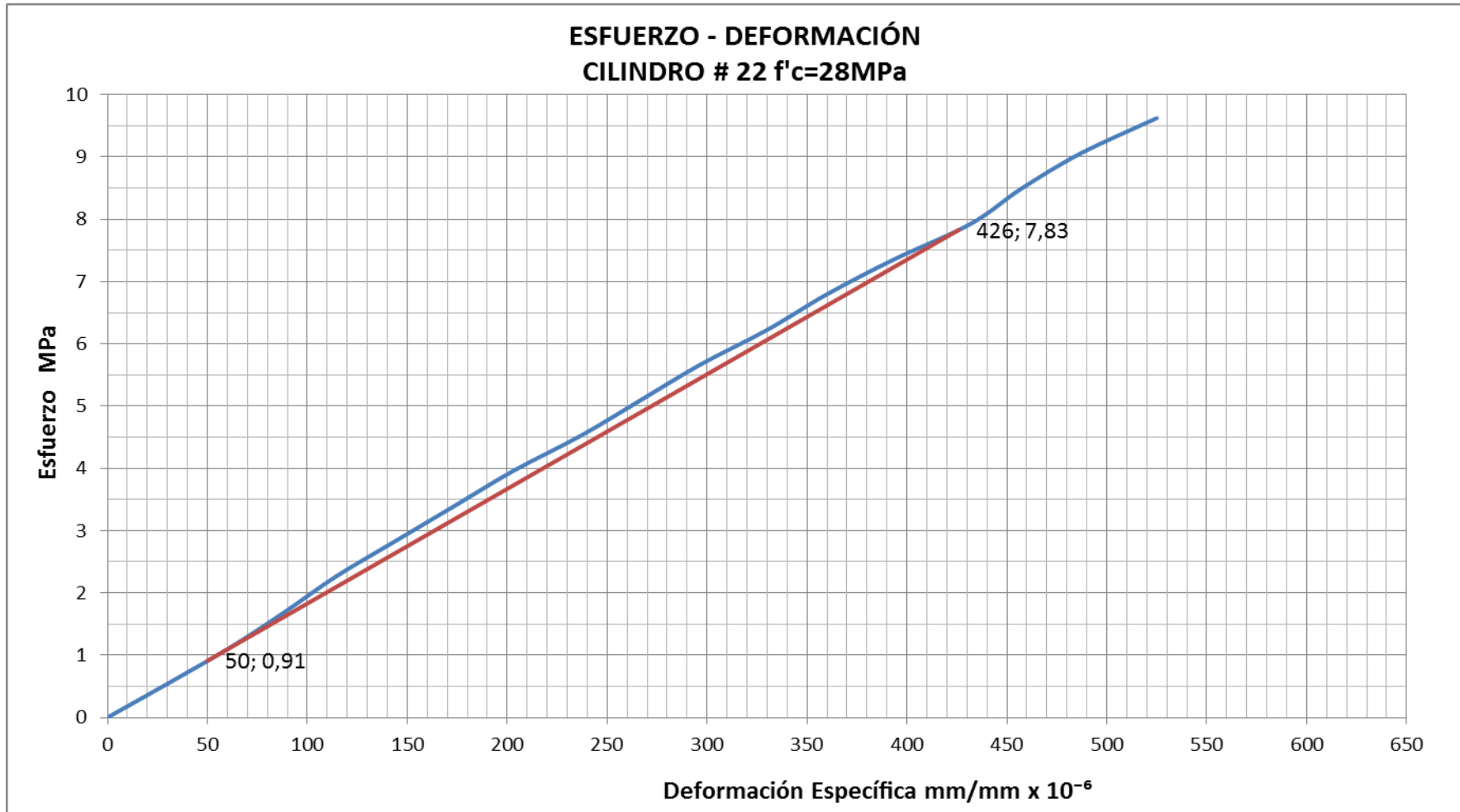


Tabla 88: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 13 f'c= 28 MPa de 14 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	13	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	14/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	14 DÍAS	ÁREA (mm²):		17671,46	
DIÁMETRO (mm):	150,00	Carga de Rotura (kg):		42139,50	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		23,79	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σr (Mpa):		9,52	
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 28 MPa EDAD 14 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,5	8,89	0,57	29,63
2	2000	7,5	19,05	1,13	63,50
3	3000	10,0	25,40	1,70	84,67
4	4000	13,5	34,29	2,26	114,30
5	5000	17,0	43,18	2,83	143,93
6	6000	20,0	50,80	3,40	169,33
7	7000	23,5	59,69	3,96	198,97
8	8000	27,0	68,58	4,53	228,60
9	9000	30,0	76,20	5,09	254,00
10	10000	33,0	83,82	5,66	279,40
11	11000	36,0	91,44	6,23	304,80
12	12000	39,0	99,06	6,79	330,20
13	13000	42,5	107,95	7,36	359,83
14	14000	45,0	114,30	7,92	381,00
15	15000	48,5	123,19	8,49	410,63
16	16000	52,0	132,08	9,06	440,27
17	17000	56,0	142,24	9,62	474,13
18	18000	60,0	152,4	10,19	508,00
19	19000	64,0	162,56	10,75	541,87
20	20000	68,0	172,72	11,32	575,73

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 9,52$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,89$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 468$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 20645,9 \text{ Mpa}$$

Gráfico 42: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 13 $f'_c = 28$ MPa de 14 días

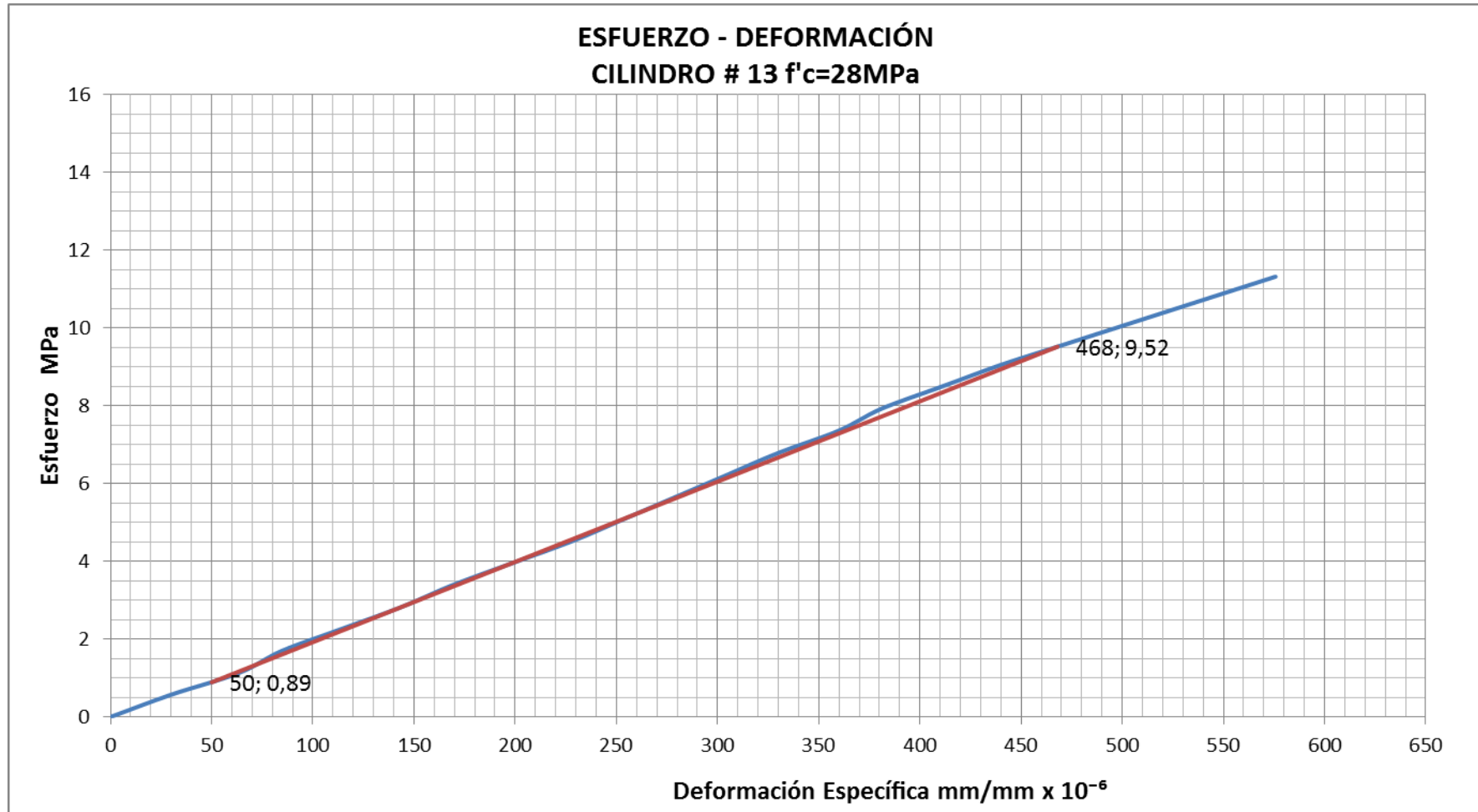


Tabla 89: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 20 f'c= 28 MPa de 14 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	20	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	14/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	14 DÍAS	ÁREA (mm²):		17907,86	
DIÁMETRO (mm):	151,00	Carga de Rotura (kg):		42265,90	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		23,60	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σr (Mpa):		9,44	
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 28 MPa EDAD 14 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,5	8,89	0,57	29,63
2	2000	7,5	19,05	1,13	63,50
3	3000	10,0	25,40	1,70	84,67
4	4000	13,0	33,02	2,26	110,07
5	5000	16,5	41,91	2,83	139,70
6	6000	19,5	49,53	3,40	165,10
7	7000	23,0	58,42	3,96	194,73
8	8000	26,5	67,31	4,53	224,37
9	9000	30,0	76,20	5,09	254,00
10	10000	32,5	82,55	5,66	275,17
11	11000	36,0	91,44	6,23	304,80
12	12000	39,0	99,06	6,79	330,20
13	13000	42,5	107,95	7,36	359,83
14	14000	45,0	114,30	7,92	381,00
15	15000	49,0	124,46	8,49	414,87
16	16000	53,0	134,62	9,06	448,73
17	17000	57,0	144,78	9,62	482,60
18	18000	60,5	153,67	10,19	512,23
19	19000	65,0	165,1	10,75	550,33
20	20000	69,5	176,53	11,32	588,43

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 9,44$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,89$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 473$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 20212,8 \text{ Mpa}$$

Gráfico 43: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 20 $f'_c=28$ MPa de 14 días

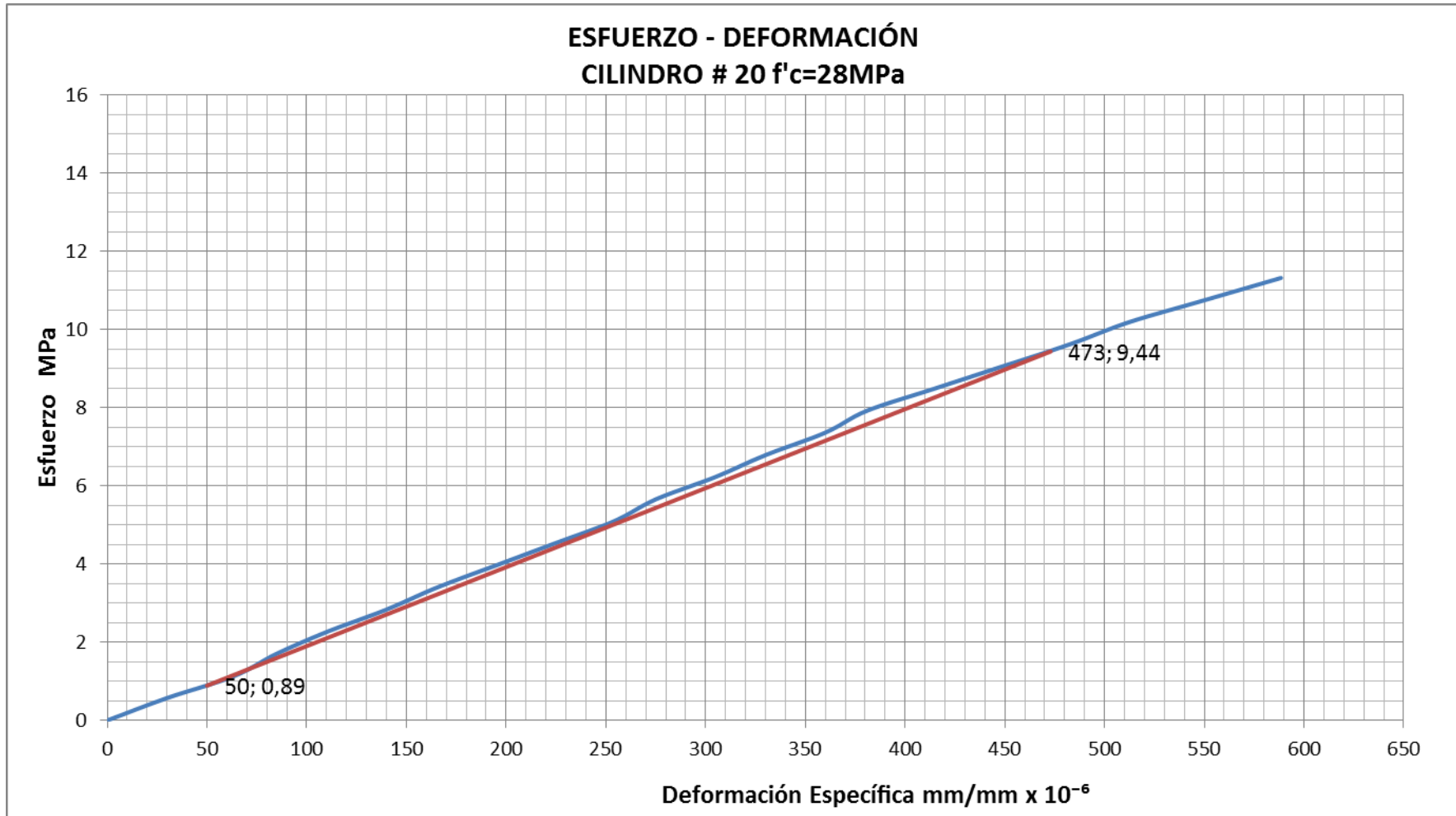


Tabla 90: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 23 $f'c= 28$ MPa de 14 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	23	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	14/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	14 DÍAS	ÁREA (mm²):		17907,86	
DIÁMETRO (mm):	151,00	Carga de Rotura (kg):		41976,10	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		23,44	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ_r (Mpa):		9,38	
ENSAYO DE CILINDROS $f'c= 28$ MPa EDAD 14 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,0	7,62	0,57	25,40
2	2000	6,0	15,24	1,13	50,80
3	3000	10,0	25,40	1,70	84,67
4	4000	13,0	33,02	2,26	110,07
5	5000	16,5	41,91	2,83	139,70
6	6000	19,5	49,53	3,40	165,10
7	7000	23,0	58,42	3,96	194,73
8	8000	26,5	67,31	4,53	224,37
9	9000	30,0	76,20	5,09	254,00
10	10000	32,5	82,55	5,66	275,17
11	11000	36,0	91,44	6,23	304,80
12	12000	39,0	99,06	6,79	330,20
13	13000	42,5	107,95	7,36	359,83
14	14000	45,0	114,30	7,92	381,00
15	15000	49,0	124,46	8,49	414,87
16	16000	53,0	134,62	9,06	448,73
17	17000	57,0	144,78	9,62	482,60
18	18000	60,5	153,67	10,19	512,23
19	19000	65,0	165,1	10,75	550,33
20	20000	69,5	176,53	11,32	588,43

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 9,38$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 1,1$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 469$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 19761,3 \text{ Mpa}$$

Gráfico 44: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 23 $f'_c=28$ MPa de 14 días

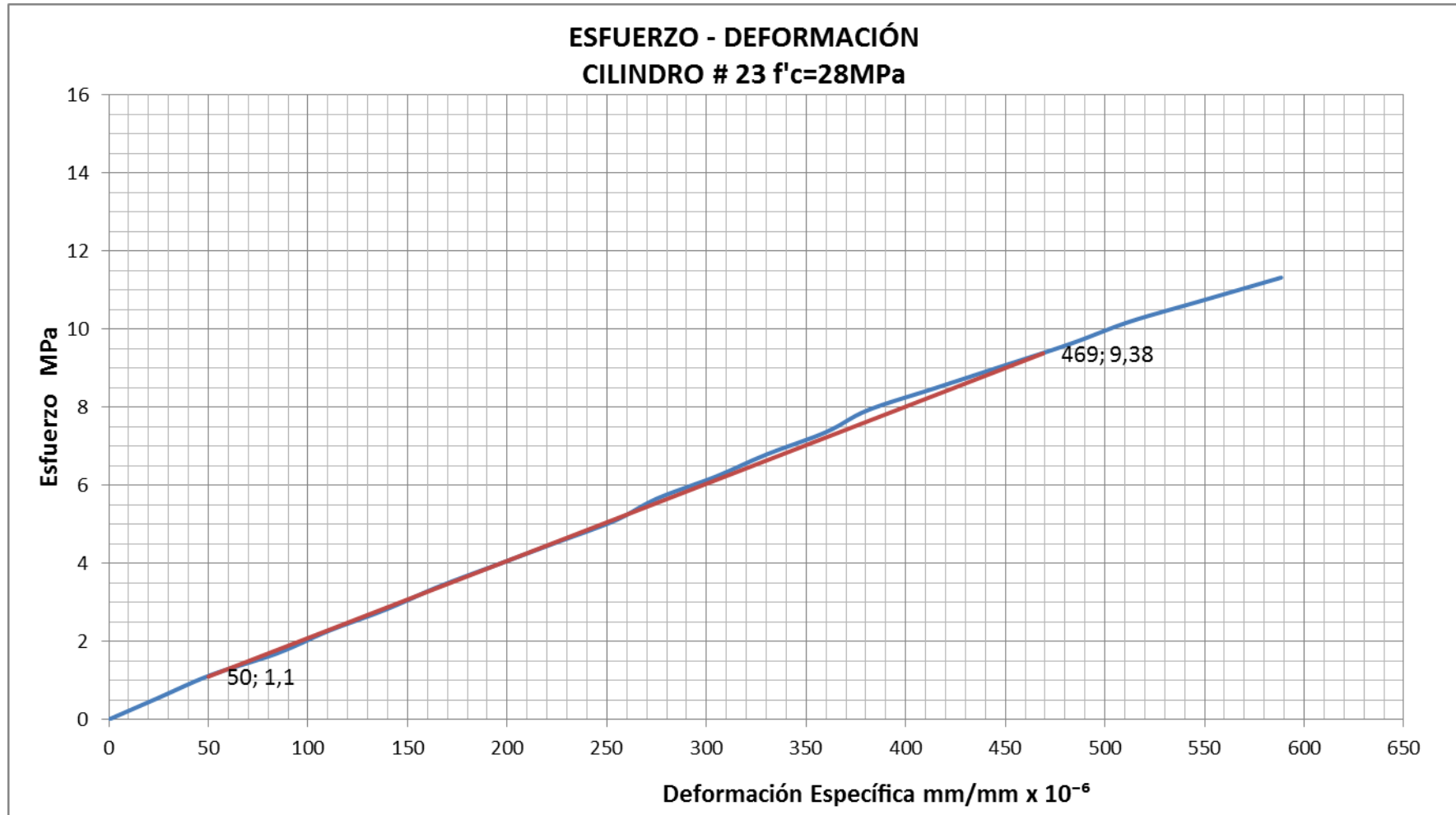


Tabla 91: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 9 f'c= 28 MPa de 21 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	9			Lo (mm) :	150,00
FECHA DE ENSAYO:	21/06/2013			L (mm) :	300,00
EDAD:	21 DÍAS			ÁREA (mm²):	17907,86
DIÁMETRO (mm):	151,00			Carga de Rotura (kg):	47851,90
MATERIAL:	HORMIGÓN			Resistencia Máxima (Mpa):	26,72
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA			40%σr (Mpa):	10,59
ENSAYO DE CILINDROS F'c= 28 MPa EDAD 21 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,0	7,62	0,57	25,40
2	2000	6,0	15,24	1,13	50,80
3	3000	9,0	22,86	1,70	76,20
4	4000	12,0	30,48	2,26	101,60
5	5000	14,5	36,83	2,83	122,77
6	6000	17,0	43,18	3,40	143,93
7	7000	20,0	50,80	3,96	169,33
8	8000	23,0	58,42	4,53	194,73
9	9000	26,0	66,04	5,09	220,13
10	10000	29,0	73,66	5,66	245,53
11	11000	32,0	81,28	6,23	270,93
12	12000	35,0	88,90	6,79	296,33
13	13000	38,0	96,52	7,36	321,73
14	14000	41,5	105,41	7,92	351,37
15	15000	45,0	114,30	8,49	381,00
16	16000	48,5	123,19	9,06	410,63
17	17000	52,0	132,08	9,62	440,27
18	18000	55,5	140,97	10,19	469,90
19	19000	59,0	149,86	10,75	499,53
20	20000	62,5	158,75	11,32	529,17
21	21000	65,0	165,10	11,89	550,33
22	22000	68	172,72	12,45	575,73
23	23000	72,0	182,88	13,02	609,60
24	24000	76	193,04	13,58	643,47

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 10,59$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 1,11$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 491$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 21496,6 \text{ Mpa}$$

Gráfico 45: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 9 $f'_c = 28$ MPa de 21 días

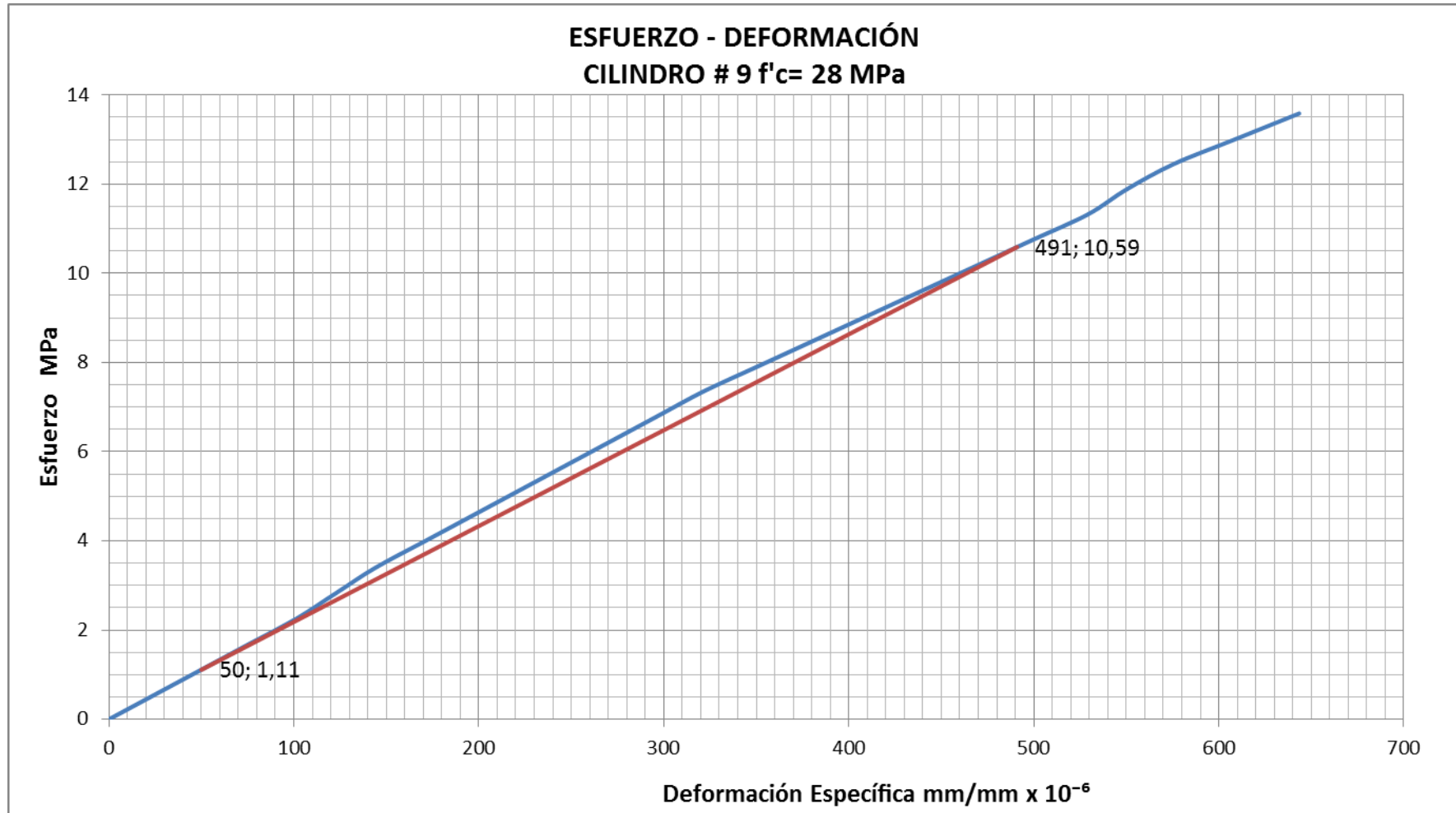


Tabla 92: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 14 $f^c= 28$ MPa de 21 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	14	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	21/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	21 DÍAS	ÁREA (mm²):		18145,84	
DIÁMETRO (mm):	152,00	Carga de Rotura (kg):		48054,00	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		26,48	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ_r (Mpa):		10,59	
ENSAYO DE CILINDROS $f^c= 28$ MPa EDAD 21 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plu $\times 10^{-4}$	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,5	8,89	0,57	29,63
2	2000	6,5	16,51	1,13	55,03
3	3000	9,0	22,86	1,70	76,20
4	4000	12,0	30,48	2,26	101,60
5	5000	14,5	36,83	2,83	122,77
6	6000	17,5	44,45	3,40	148,17
7	7000	20,5	52,07	3,96	173,57
8	8000	23,5	59,69	4,53	198,97
9	9000	26,5	67,31	5,09	224,37
10	10000	29,5	74,93	5,66	249,77
11	11000	32,5	82,55	6,23	275,17
12	12000	35,0	88,90	6,79	296,33
13	13000	38,0	96,52	7,36	321,73
14	14000	42,0	106,68	7,92	355,60
15	15000	45,5	115,57	8,49	385,23
16	16000	49,0	124,46	9,06	414,87
17	17000	52,5	133,35	9,62	444,50
18	18000	56,0	142,24	10,19	474,13
19	19000	59,5	151,13	10,75	503,77
20	20000	63,0	160,02	11,32	533,40
21	21000	67,0	170,18	11,89	567,27
22	22000	70	177,80	12,45	592,67
23	23000	75,0	190,50	13,02	635,00
24	24000	80	203,20	13,58	677,33

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4\sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$40\% \sigma_r$ (MPa)= 10,59
 $\sigma_{(0.00005)}$ (MPa)= 1,03
 $\varepsilon_{0.4 \sigma_r}$ (1×10^{-6} mm/mm) = 495

$$E_c = \mathbf{21483,1 \text{ Mpa}}$$

Gráfico 46: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 14 $f'_c = 28$ MPa de 21 días

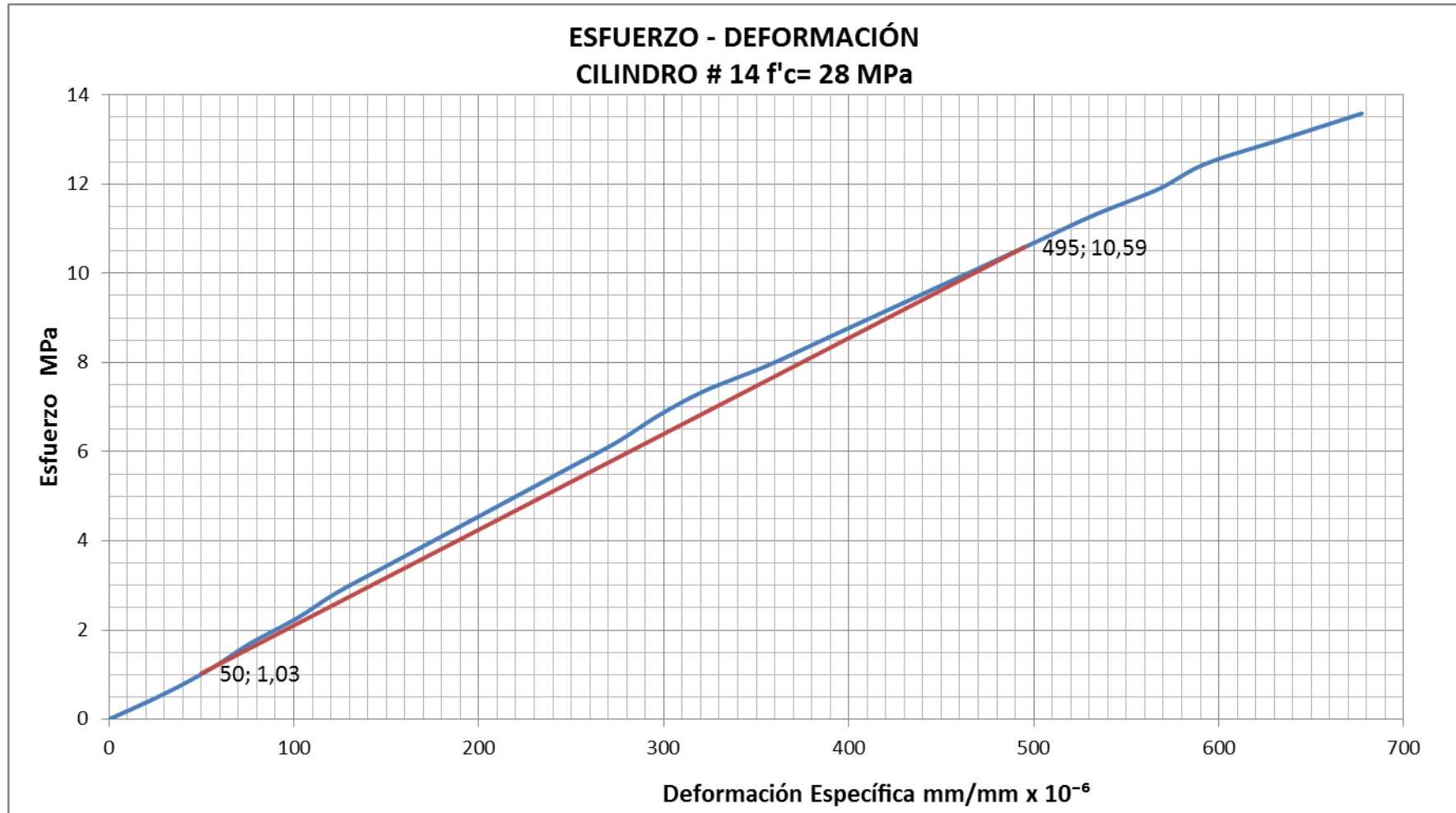


Tabla 93: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 24 $f'c= 28$ MPa de 21 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	24	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	21/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	21 DÍAS	ÁREA (mm²):		17671,46	
DIÁMETRO (mm):	150,00	Carga de Rotura (kg):		47152,60	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		26,68	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ_r (Mpa):		10,67	
ENSAYO DE CILINDROS $f'c= 28$ MPa EDAD 21 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,5	8,89	0,57	29,63
2	2000	7,0	17,78	1,13	59,27
3	3000	10,0	25,40	1,70	84,67
4	4000	12,5	31,75	2,26	105,83
5	5000	15,0	38,10	2,83	127,00
6	6000	18,0	45,72	3,40	152,40
7	7000	21,0	53,34	3,96	177,80
8	8000	24,0	60,96	4,53	203,20
9	9000	27,0	68,58	5,09	228,60
10	10000	30,0	76,20	5,66	254,00
11	11000	33,0	83,82	6,23	279,40
12	12000	36,0	91,44	6,79	304,80
13	13000	39,0	99,06	7,36	330,20
14	14000	42,0	106,68	7,92	355,60
15	15000	46,0	116,84	8,49	389,47
16	16000	49,5	125,73	9,06	419,10
17	17000	53,0	134,62	9,62	448,73
18	18000	56,5	143,51	10,19	478,37
19	19000	60,0	152,40	10,75	508,00
20	20000	64,0	162,56	11,32	541,87
21	21000	68,0	172,72	11,89	575,73
22	22000	72	182,88	12,45	609,60
23	23000	76,5	194,31	13,02	647,70
24	24000	80	203,20	13,58	677,33

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 10,67$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 0,96$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} (1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}) = 504$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 21387,7 \text{ Mpa}$$

Gráfico 47: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 24 $f'_c = 28$ MPa de 21 días

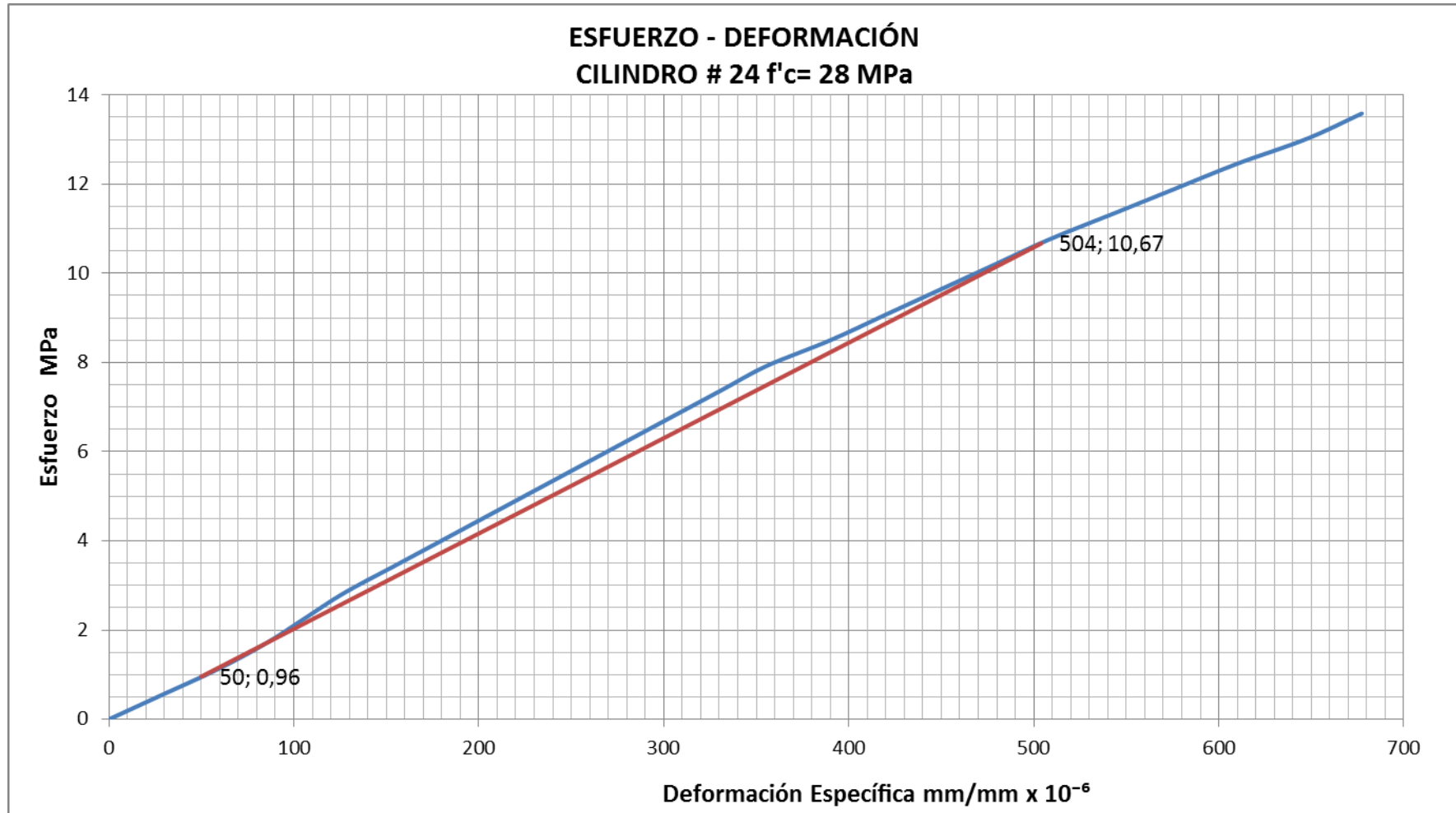


Tabla 94: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 8 $f'_c = 28$ MPa de 28 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	8	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	28/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	28 DÍAS	ÁREA (mm²):		17436,62	
DIÁMETRO (mm):	149,00	Carga de Rotura (kg):		48674,50	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		27,92	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ (Mpa):		11,17	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c = 28$ MPa EDAD 28 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,0	7,62	0,57	25,40
2	2000	6,0	15,24	1,15	50,80
3	3000	9,0	22,86	1,72	76,20
4	4000	11,5	29,21	2,29	97,37
5	5000	14,0	35,56	2,87	118,53
6	6000	16,5	41,91	3,44	139,70
7	7000	19,5	49,53	4,01	165,10
8	8000	22,5	57,15	4,59	190,50
9	9000	25,5	64,77	5,16	215,90
10	10000	28,5	72,39	5,74	241,30
11	11000	31,5	80,01	6,31	266,70
12	12000	34,5	87,63	6,88	292,10
13	13000	37,5	95,25	7,46	317,50
14	14000	40,5	102,87	8,03	342,90
15	15000	44,0	111,76	8,60	372,53
16	16000	47,5	120,65	9,18	402,17
17	17000	51,0	129,54	9,75	431,80
18	18000	54,5	138,43	10,32	461,43
19	19000	58,0	147,32	10,90	491,07
20	20000	61,5	156,21	11,47	520,70
21	21000	65,0	165,10	12,04	550,33
22	22000	68,5	173,99	12,62	579,97
23	23000	72,0	182,88	13,19	609,60
24	24000	75,5	191,77	13,76	639,23
25	25000	79,0	200,66	14,34	668,87

26	26000	82,5	209,55	14,91	698,50
27	27000	86,0	218,44	15,49	728,13
28	28000	89,5	227,33	16,06	757,77
29	29000	93,0	236,22	16,63	787,40
30	30000	96,5	245,11	17,21	817,03
31	31000	100,0	254,00	17,78	846,67
32	32000	103,5	262,89	18,35	876,30
33	33000	107,0	271,78	18,93	905,93
34	34000	111,0	281,94	19,50	939,80
35	35000	115,0	292,10	20,07	973,67
36	36000	120,0	304,80	20,65	1016,00
37	37000	125,0	317,50	21,22	1058,33
38	38000	130,0	330,20	21,79	1100,67
39	39000	135,0	342,90	22,37	1143,00
40	40000	140,0	355,60	22,94	1185,33
41	41000	146,0	370,84	23,51	1236,13
42	42000	152,0	386,08	24,09	1286,93
43	43000	158,0	401,32	24,66	1337,73
44	44000	165,0	419,1	25,24	1397,00
45	45000	173,0	439,42	25,81	1464,73
46	46000	183,0	464,82	26,38	1549,40
47	47000	194,0	492,76	26,96	1642,53
48	48000	208,0	528,32	27,53	1761,07
49	48675	222,0	563,88	27,92	1879,60
50	48500	253,0	642,62	27,82	2142,07
51	47000	284,0	721,36	26,96	2404,53
52	44500	322,0	817,88	25,52	2726,27
53	42000	346,0	878,84	24,09	2929,47
54	39500	361,0	916,94	22,65	3056,47

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 11,17$$

$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 1,14$$

$$\varepsilon_{0.4\sigma_r} 1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm} = 502$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4\sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = 22190,3 \text{ Mpa}$$

Gráfico 48: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 8 f'c= 28 MPa de 28días

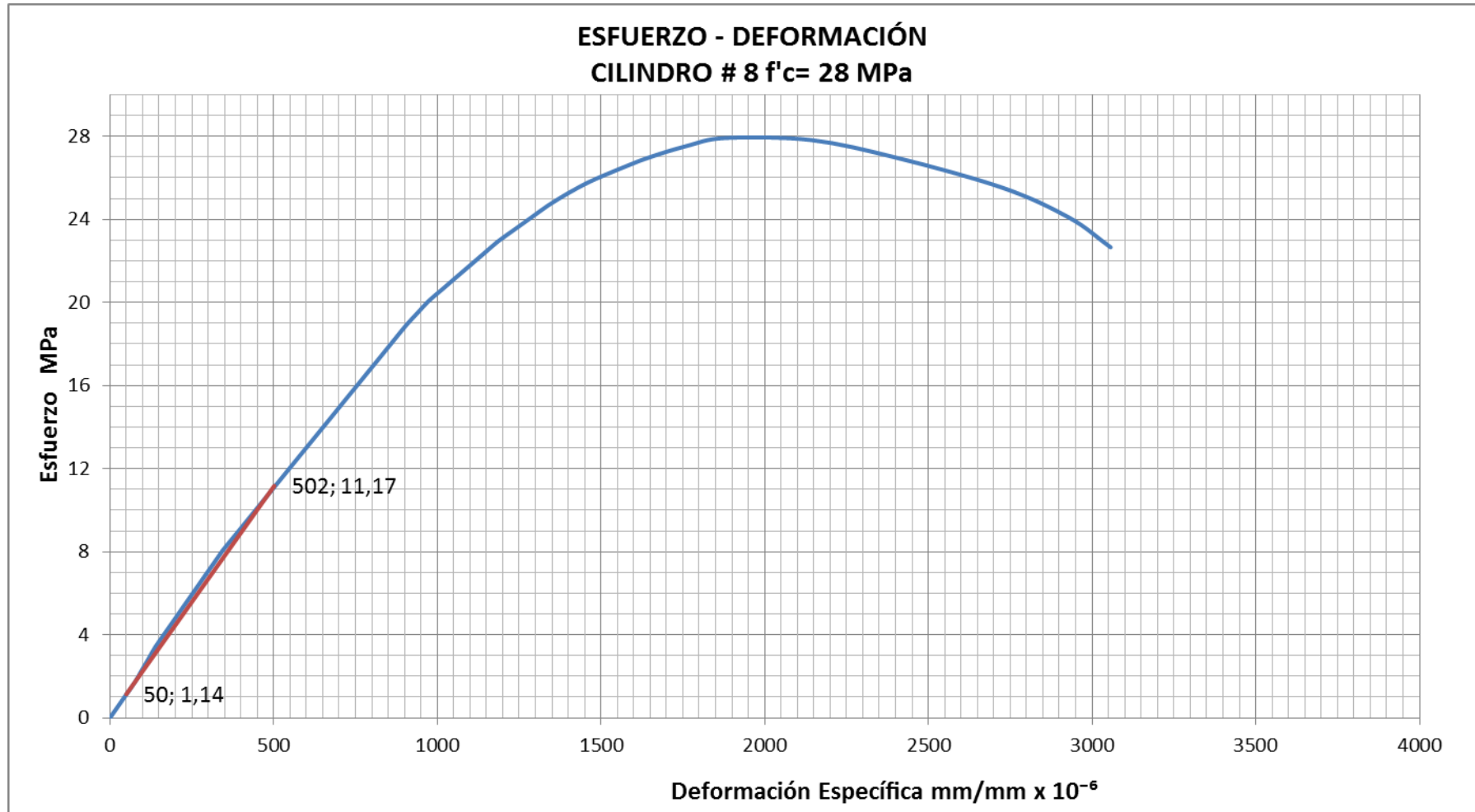


Tabla 95: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 15 $f'_c = 28$ MPa de 28 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	15	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	28/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	28 DÍAS	ÁREA (mm²):		17671,46	
DIÁMETRO (mm):	150,00	Carga de Rotura (kg):		49082,10	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		27,77	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ (Mpa):		11,11	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c = 28$ MPa EDAD 28 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,0	7,62	0,57	25,40
2	2000	6,0	15,24	1,13	50,80
3	3000	9,0	22,86	1,70	76,20
4	4000	11,5	29,21	2,26	97,37
5	5000	14,0	35,56	2,83	118,53
6	6000	16,5	41,91	3,40	139,70
7	7000	19,5	49,53	3,96	165,10
8	8000	22,5	57,15	4,53	190,50
9	9000	25,5	64,77	5,09	215,90
10	10000	28,5	72,39	5,66	241,30
11	11000	31,5	80,01	6,22	266,70
12	12000	34,5	87,63	6,79	292,10
13	13000	37,5	95,25	7,36	317,50
14	14000	40,0	101,60	7,92	338,67
15	15000	43,5	110,49	8,49	368,30
16	16000	47,0	119,38	9,05	397,93
17	17000	50,5	128,27	9,62	427,57
18	18000	54,0	137,16	10,19	457,20
19	19000	57,5	146,05	10,75	486,83
20	20000	60,5	153,67	11,32	512,23
21	21000	64,5	163,83	11,88	546,10
22	22000	68,0	172,72	12,45	575,73
23	23000	71,0	180,34	13,02	601,13
24	24000	75,5	191,77	13,58	639,23
25	25000	79,0	200,66	14,15	668,87

26	26000	82,5	209,55	14,71	698,50
27	27000	86,0	218,44	15,28	728,13
28	28000	89,5	227,33	15,85	757,77
29	29000	93,0	236,22	16,41	787,40
30	30000	96,5	245,11	16,98	817,03
31	31000	100,0	254,00	17,54	846,67
32	32000	103,5	262,89	18,11	876,30
33	33000	107,0	271,78	18,67	905,93
34	34000	111,0	281,94	19,24	939,80
35	35000	115,0	292,10	19,81	973,67
36	36000	120,0	304,80	20,37	1016,00
37	37000	125,0	317,50	20,94	1058,33
38	38000	130,0	330,20	21,50	1100,67
39	39000	135,0	342,90	22,07	1143,00
40	40000	140,0	355,60	22,64	1185,33
41	41000	146,0	370,84	23,20	1236,13
42	42000	152,0	386,08	23,77	1286,93
43	43000	158,0	401,32	24,33	1337,73
44	44000	165,0	419,1	24,90	1397,00
45	45000	173,0	439,42	25,47	1464,73
46	46000	183,0	464,82	26,03	1549,40
47	47000	194,0	492,76	26,60	1642,53
48	48000	208,0	528,32	27,16	1761,07
49	49000	222,0	563,88	27,73	1879,60
50	49082	253,0	642,62	27,78	2142,07
51	49000	273,0	693,42	27,73	2311,40
52	48000	294,0	746,76	27,16	2489,20
53	46500	315,0	800,10	26,31	2667,00
54	45000	336,0	853,44	25,47	2844,80
55	43000	358,0	909,32	24,33	3031,07
56	41000	371,0	942,34	23,20	3141,13

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$\begin{aligned}
 40\% \sigma_r \text{ (MPa)} &= 11,11 \\
 \sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} &= 1,08 \\
 \varepsilon_{0.4\sigma_r} 1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm} &= 496
 \end{aligned}$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4\sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = \mathbf{22488,8 \text{ Mpa}}$$

Gráfico 49: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 15 $f'_c = 28$ MPa de 28 días

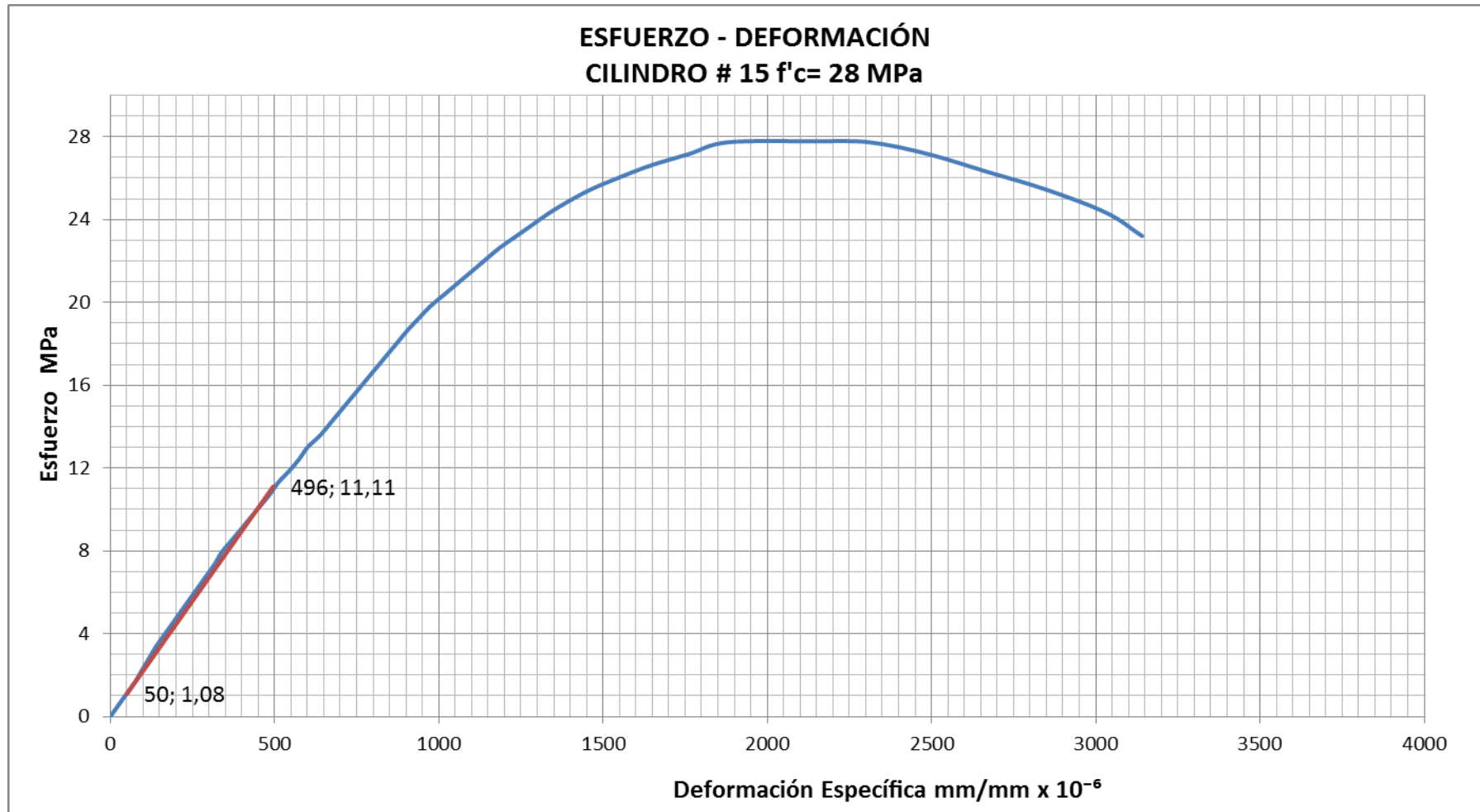


Tabla 96: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 16 $f'_c = 28$ MPa de 28 días

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES					
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
CILINDRO N°:	16	Lo (mm) :		150,00	
FECHA DE ENSAYO:	28/06/2013	L (mm) :		300,00	
EDAD:	28 DÍAS	ÁREA (mm²):		17436,62	
DIÁMETRO (mm):	149,00	Carga de Rotura (kg):		48563,50	
MATERIAL:	HORMIGÓN	Resistencia Máxima (Mpa):		27,85	
CANTERA:	PLAYA LLAGCHOA	40%σ (Mpa):		11,14	
ENSAYO DE CILINDROS $f'_c = 28$ MPa EDAD 28 DÍAS					
NORMA ASTM C-469-94					
N°	CARGA kg	DEFORMACIÓN		ESFUERZO Mpa	DEF. ESPECÍFICA mm/mm x 10 ⁻⁶
		1plugx10 ⁻⁴	1mmx10 ⁻³		
0	0	0	0	0	0
1	1000	3,5	8,89	0,57	29,63
2	2000	7,0	17,78	1,15	59,27
3	3000	9,5	24,13	1,72	80,43
4	4000	12,0	30,48	2,29	101,60
5	5000	14,5	36,83	2,87	122,77
6	6000	17,0	43,18	3,44	143,93
7	7000	20,0	50,80	4,01	169,33
8	8000	23,0	58,42	4,59	194,73
9	9000	26,0	66,04	5,16	220,13
10	10000	28,5	72,39	5,74	241,30
11	11000	31,5	80,01	6,31	266,70
12	12000	34,5	87,63	6,88	292,10
13	13000	37,5	95,25	7,46	317,50
14	14000	40,5	102,87	8,03	342,90
15	15000	44,0	111,76	8,60	372,53
16	16000	47,5	120,65	9,18	402,17
17	17000	51,0	129,54	9,75	431,80
18	18000	54,5	138,43	10,32	461,43
19	19000	58,0	147,32	10,90	491,07
20	20000	61,5	156,21	11,47	520,70
21	21000	65,0	165,10	12,04	550,33
22	22000	68,5	173,99	12,62	579,97
23	23000	72,0	182,88	13,19	609,60
24	24000	75,5	191,77	13,76	639,23
25	25000	79,0	200,66	14,34	668,87

26	26000	82,5	209,55	14,91	698,50
27	27000	86,0	218,44	15,49	728,13
28	28000	89,5	227,33	16,06	757,77
29	29000	93,0	236,22	16,63	787,40
30	30000	96,5	245,11	17,21	817,03
31	31000	100,0	254,00	17,78	846,67
32	32000	103,5	262,89	18,35	876,30
33	33000	107,0	271,78	18,93	905,93
34	34000	111,0	281,94	19,50	939,80
35	35000	115,0	292,10	20,07	973,67
36	36000	120,0	304,80	20,65	1016,00
37	37000	125,0	317,50	21,22	1058,33
38	38000	130,0	330,20	21,79	1100,67
39	39000	135,0	342,90	22,37	1143,00
40	40000	140,0	355,60	22,94	1185,33
41	41000	146,0	370,84	23,51	1236,13
42	42000	152,0	386,08	24,09	1286,93
43	43000	158,0	401,32	24,66	1337,73
44	44000	163,0	414,02	25,24	1380,07
45	45000	170,0	431,80	25,81	1439,33
46	46000	180,0	457,2	26,38	1524,00
47	47000	191,0	485,14	26,96	1617,13
48	48000	205,0	520,70	27,53	1735,67
49	48564	219,0	556,26	27,85	1854,20
50	48500	250,0	635,00	27,82	2116,67
51	47000	281,0	713,74	26,96	2379,13
52	44500	320,0	812,80	25,52	2709,33
53	42000	345,0	876,30	24,09	2921,00
54	39500	359,0	911,86	22,65	3039,53

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO

$$40\% \sigma_r \text{ (MPa)} = 11,14$$

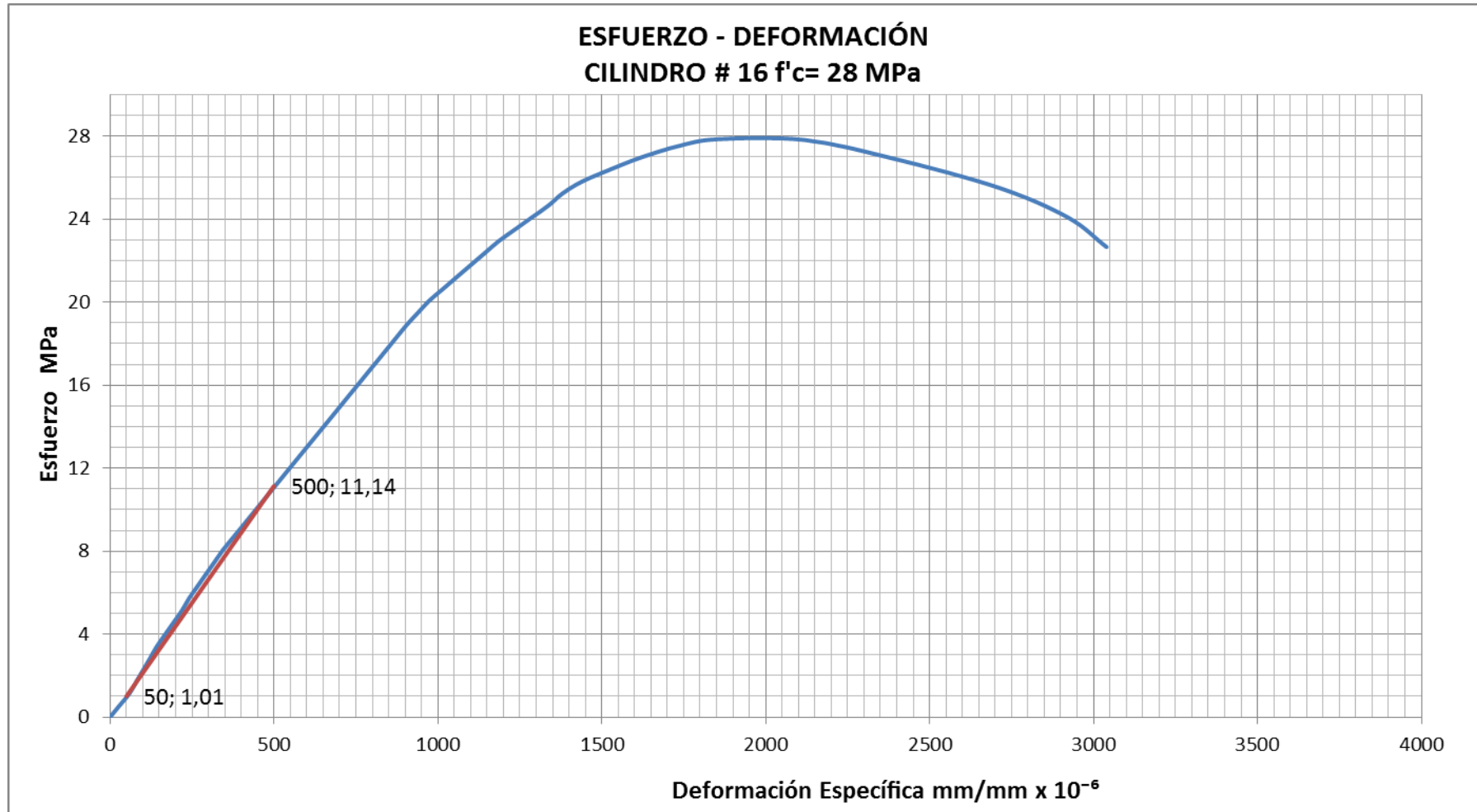
$$\sigma_{(0.00005)} \text{ (MPa)} = 1,01$$

$$\varepsilon_{0.4 \sigma_r} 1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm} = 500$$

$$E_c = \frac{0.4 \sigma_r - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4 \sigma_{m\acute{a}x})} - 0.00005}$$

$$E_c = \mathbf{22511,1 \text{ Mpa}}$$

Gráfico 50: Esfuerzo - Deformación Cilindro # 16 $f'_c= 28$ MPa de 28días



6.7.7 Módulo de Elasticidad Estático Teórico.

La resistencia a compresión del hormigón se utiliza en (MPa), para poder aplicar las formulas propuestas por el Comité del ACI 318 y ACI 363.

6.7.7.1 Módulo de Elasticidad Estático Teórico para un hormigón de 210 kg/cm²

Tabla 97: Módulo de Elasticidad Estático Teórico para un hormigón de 210 kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA				
RESISTENCIA ESPECIFICADA 21 MPa				
N°	EDAD días	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO	
			A.C.I - 318	A.C.I - 363
17	7	14,36	17810,46	19481,00
18	7	14,81	18087,37	19676,61
24	7	14,81	18087,37	19676,61
PROMEDIO =			17995,06	19611,41
16	14	17,40	19605,25	20748,82
19	14	17,52	19672,74	20796,49
20	14	17,59	19712,00	20824,22
PROMEDIO =			19663,33	20789,84
1	21	19,85	20940,07	21691,71
2	21	20,08	21061,04	21777,16
6	21	20,12	21082,00	21791,97
PROMEDIO =			21027,70	21753,61
8	28	20,85	21461,05	22059,72
11	28	20,72	21394,04	22012,38
12	28	20,62	21342,35	21975,87
PROMEDIO =			21399,14	22015,99

6.7.7.2 Módulo de Elasticidad Estático Teórico para un hormigón de 240 kg/cm²

Tabla 98: Módulo de Elasticidad Estático Teórico para un hormigón de 240 kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA				
RESISTENCIA ESPECIFICADA 24 MPa				
N°	EDAD días	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO	
			A.C.I - 318	A.C.I - 363
22	7	16,56	19126,17	20410,40
23	7	16,52	19103,06	20394,07
24	7	16,74	19229,84	20483,63
PROMEDIO =			19153,02	20429,37
1	14	19,65	20834,31	21617,00
3	14	19,72	20871,39	21643,19
7	14	19,80	20913,68	21673,07
PROMEDIO =			20873,13	21644,42
12	21	22,65	22368,25	22700,55
13	21	22,70	22392,92	22717,98
14	21	22,73	22407,72	22728,43
PROMEDIO =			22389,63	22715,65
9	28	23,99	23020,41	23161,22
17	28	23,88	22967,57	23123,90
20	28	23,81	22933,88	23100,10
PROMEDIO =			22973,95	23128,41

6.7.7.3 Módulo de Elasticidad Estático Teórico para un hormigón de 280 kg/cm²

Tabla 99: Módulo de Elasticidad Estático Teórico para un hormigón de 280 kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES				
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA				
RESISTENCIA ESPECIFICADA 28 MPa				
N°	EDAD días	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO	
			A.C.I - 318 (Mpa)	A.C.I - 363 (Mpa)
3	7	19,45	20728,01	21541,92
4	7	19,39	20696,02	21519,31
22	7	19,58	20797,17	21590,77
PROMEDIO =			20740,40	21550,66
13	14	23,79	22924,25	23093,30
20	14	23,60	22832,52	23028,50
23	14	23,44	22754,99	22973,74
PROMEDIO =			22837,25	23031,85
9	21	26,72	24294,95	24061,54
14	21	26,48	24185,60	23984,30
24	21	26,68	24276,76	24048,69
PROMEDIO =			24252,44	24031,51
8	28	27,92	24834,51	24442,67
15	28	27,77	24767,71	24395,49
16	28	27,85	24803,36	24420,67
PROMEDIO =			24801,86	24419,61

6.7.8 Comparación del Módulo de Elasticidad Estático Experimental y Teórico.

6.7.8.1 Comparación del Módulo de Elasticidad Estático Experimental y Teórico para un hormigón de 210, 240 y 280 kg/cm²

Tabla 100: Comparación del Módulo de Elasticidad Estático Experimental y Teórico para un hormigón de 210 kg/cm²

EDAD DÍAS	RESISTENCIA A COMPRESIÓN MEDIA	MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO			RELACIÓN ASTM - 469 CON:	
		ASTM - 469	ACI - 318	ACI - 363	ACI - 318	ACI - 363
7	14,66	15088,37	17995,06	19611,41	84%	77%
14	17,5	17549,87	19663,33	20789,84	89%	84%
21	20,02	18304,60	21027,70	21753,61	87%	84%
28	20,73	18935,76	21399,14	22015,99	88%	86%

Tabla 101: Comparación del Módulo de Elasticidad Estático Experimental y Teórico para un hormigón de 240 kg/cm²

EDAD DÍAS	RESISTENCIA A COMPRESIÓN MEDIA	MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO (Ec)			RELACIÓN ASTM - 469	
		ASTM - 469	ACI - 318	ACI - 363	ACI - 318	ACI - 363
7	16,61	16358,57	19153,02	20429,37	85%	80%
14	19,72	18649,97	20873,13	21644,42	89%	86%
21	22,69	19449,36	22389,63	22715,65	87%	86%
28	23,89	20516,00	22973,95	23128,41	89%	89%

Tabla 102: Comparación del Módulo de Elasticidad Estático Experimental y Teórico para un hormigón de 280 kg/cm²

EDAD DÍAS	RESISTENCIA A COMPRESIÓN MEDIA	MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO (Ec)			RELACIÓN ASTM - 469	
		ASTM - 469	ACI - 318	ACI - 363	ACI - 318	ACI - 363
7	19,47	18497,60	20740,40	21550,66	89%	86%
14	23,61	20206,65	22837,25	23031,85	88%	88%
21	26,63	21455,80	24252,44	24031,51	88%	89%
28	27,85	22396,73	24801,86	24419,61	90%	92%

6.7.9 Curva de relación entre el Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión del hormigón

6.7.9.1 Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 7 días

Tabla 103: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 7 días

EDAD DÍAS	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (Mpa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO NORMA ASTM – 469 (MPa)
7	14,66	15088,37
7	16,61	16358,57
7	19,47	18497,60

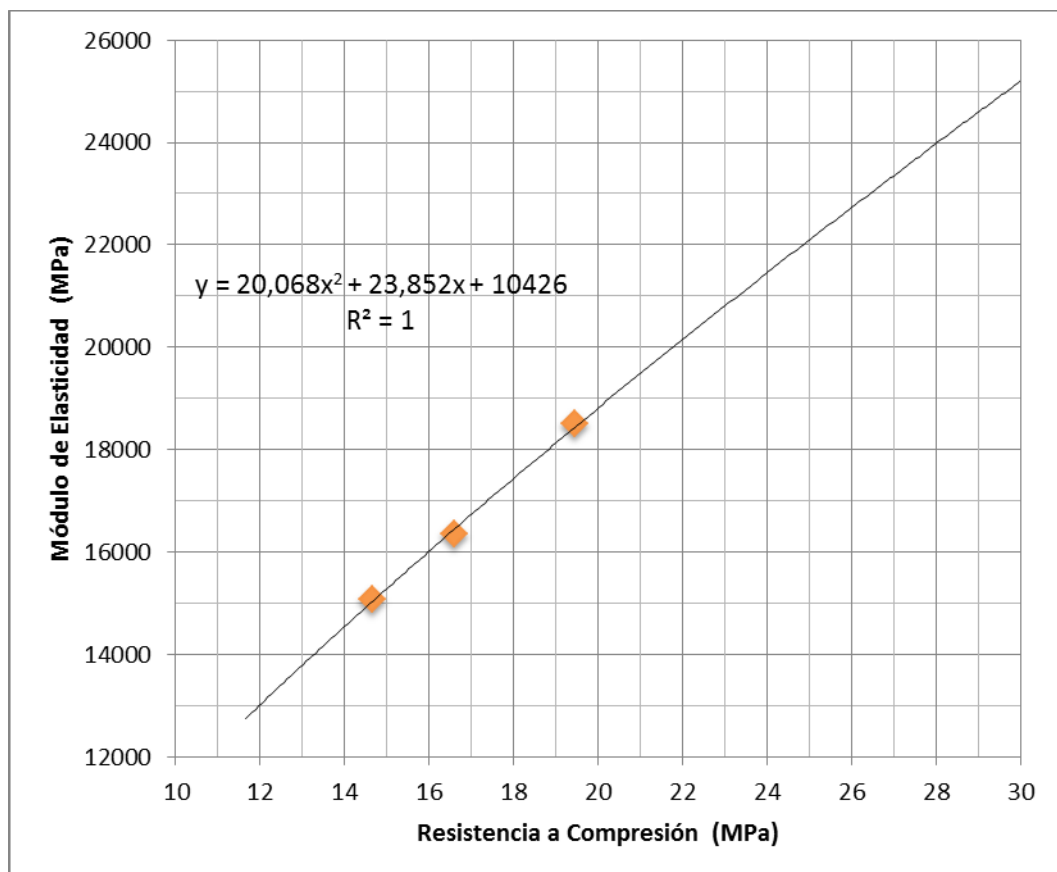


Gráfico 51: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 7 días

6.7.9.2 Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 14 días

Tabla 104: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 14 días

EDAD DÍAS	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (Mpa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO NORMA ASTM - 469 (Mpa)
14	17,5	17549,87
14	19,72	18649,97
14	23,61	20206,65

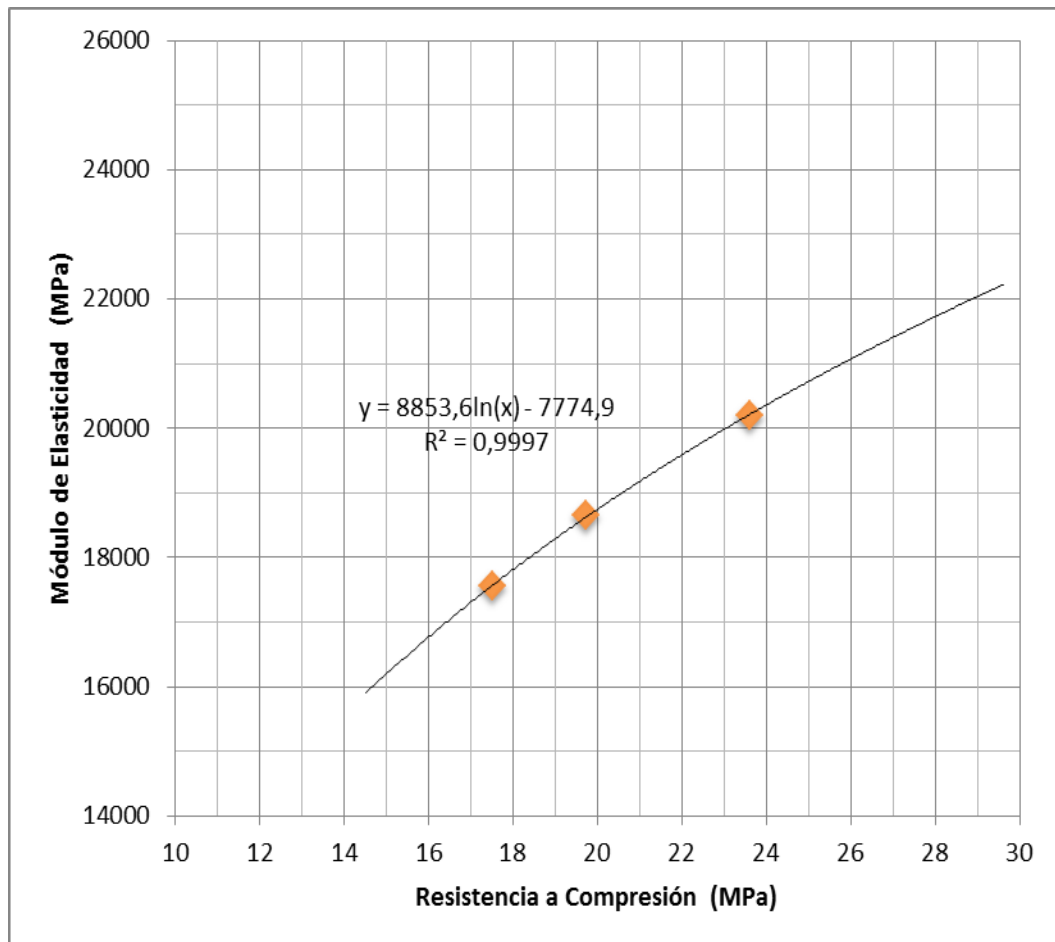


Gráfico 52: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 14 días

6.7.9.3 Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 21 días

Tabla 105: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 21 días

EDAD DÍAS	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (Mpa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO NORMA ASTM - 469 (Mpa)
21	20,02	18304,60
21	22,69	19449,36
21	26,63	21455,80

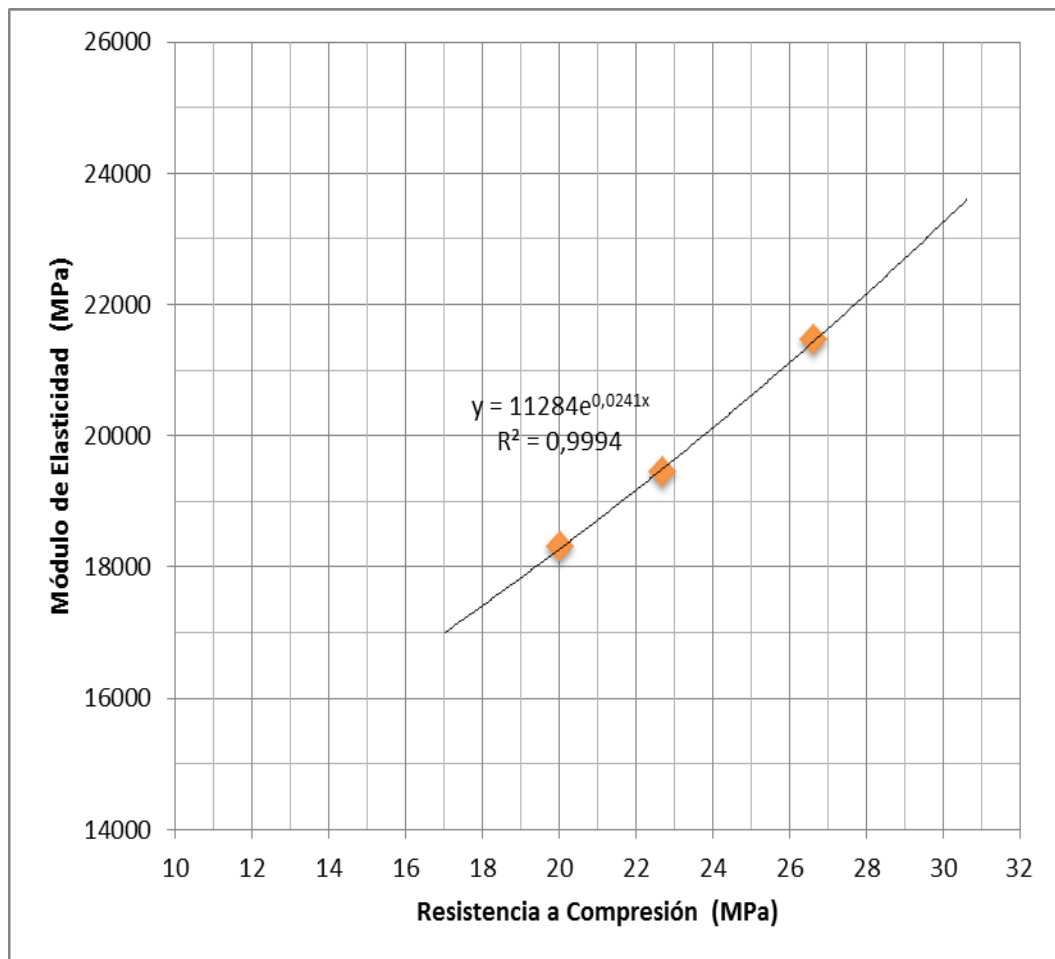


Gráfico 53: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 21 días

6.7.9.4 Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 28 días

Tabla 106: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 28 días

EDAD DÍAS	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (Mpa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO NORMA ASTM - 469 (Mpa)
28	20,73	18935,76
28	23,89	20516,00
28	27,85	22396,73

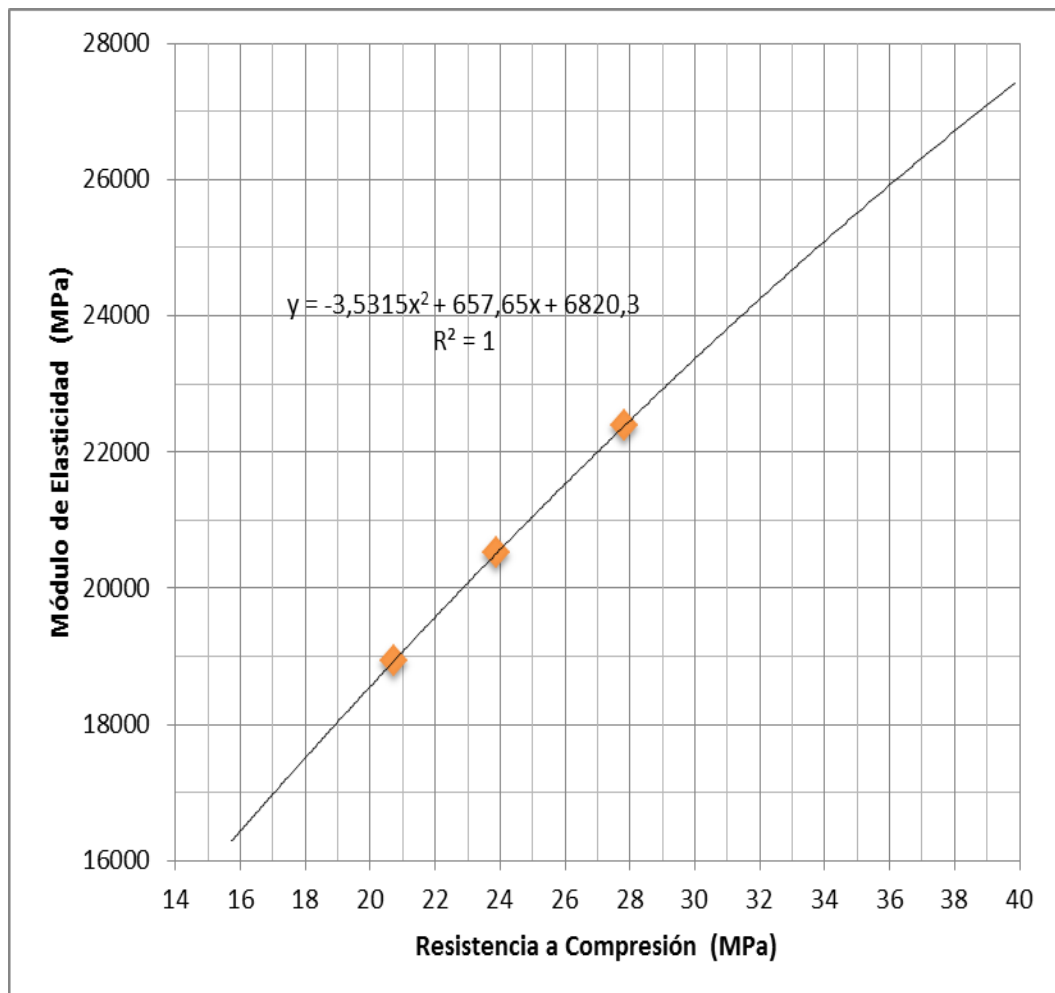


Gráfico 54: Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de edad de 28 días

6.7.9.5 Curva Módulo de Elasticidad Estático Teórico por la Norma ACI - 318 y Módulo de Elasticidad Estático Experimental por la Norma ASTM 469 para un hormigón de edad de 28 días

Tabla 107: Curva Módulo de Elasticidad Estático Teórico por la Norma ACI - 318 y Módulo de Elasticidad Estático Experimental por la Norma ASTM 469 para un hormigón de edad de 28 días

RESISTENCIA A COMPRESIÓN (Mpa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO (Ec) (Mpa)	
	ASTM - 469	ACI 318
21	19073,56	21538,11
24	20569,76	23025,20
28	22465,80	24870,06

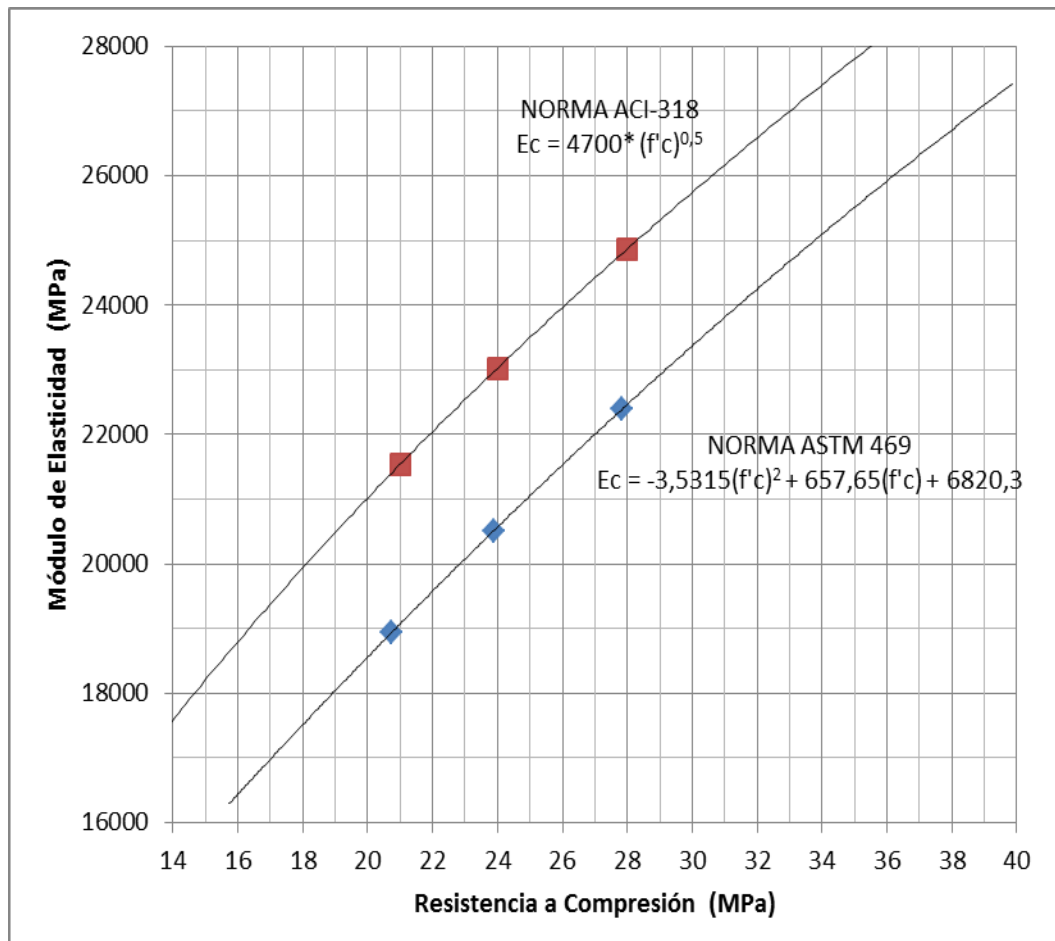


Gráfico 55: Curva Módulo de Elasticidad Estático Teórico por la Norma ACI - 318 y Módulo de Elasticidad Estático Experimental por la Norma ASTM 469 para un hormigón de edad de 28 días

6.7.10 Conclusiones

- Se determinó el Módulo de Elasticidad Estático experimental (E_c) del hormigón según la norma ASTM 469, obteniendo valores mucho más bajos que los propuestos con las ecuaciones del comité ACI 318 y ACI 363, esto se debe a que las ecuaciones del comité ACI fueron realizadas con materiales muy distintos a las de nuestro sector, por lo tanto en una estructura el valor de sus deformaciones horizontales y derivas de piso serán mayores a las que estamos considerando.
- Se consiguieron las resistencias a la compresión próximas a las resistencias especificadas de 210, 240 y 280 kg/cm², el Módulo de Elasticidad Estático experimental menor con respecto al teórico, se debe además a la calidad de los agregados, en especial al agregado grueso, el cual presenta una elevada porosidad que se evidencia por su alta capacidad de absorción y baja densidad, que permiten que el hormigón tenga mayor deformación bajo la acción de una carga axial.
- Se estableció curvas de relación entre el Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la Compresión del hormigón para edades de 7, 14, 21, y 28 días, permitiéndonos obtener el Módulo de Elasticidad Estático para distintas resistencias por medio de las gráficas o las ecuaciones planteadas.

6.7.11 Recomendaciones

- Los materiales provenientes de las canteras que no tienen un proceso adecuado para cumplir con normas de calidad no deben ser utilizados para la elaboración de construcciones importantes u hormigones de alta resistencia.
- El control de calidad del hormigón no solo debe estar enfocado a obtener la resistencia a compresión a los 28 días, se debe además establecer el Módulo de Elasticidad Estático del hormigón.
- Utilizar las ecuaciones y gráficas planteadas en esta investigación para el cálculo del Módulo de Elasticidad Estático del hormigón, siempre y cuando los agregados tengan propiedades semejantes a los agregados utilizados en esta investigación.

6.8 ADMINISTRACIÓN

El desarrollo del proyecto de investigación, “La resistencia a la compresión del hormigón y su influencia en el Módulo de Elasticidad Estático en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua.”, queda a cargo de la Facultad de Ingeniería Civil Y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, quién será portadora del estudio y sabrá dar a conocer a futuros proyectos.

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

La presente investigación servirá como guía para la correcta utilización del Módulo de Elasticidad Estático de hormigón en las obras civiles, permitiendo que profesionales de la construcción concienticen que a más del valor de la resistencia a la compresión, el valor del Módulo de Elasticidad Estático es otro indicativo de la calidad del hormigón.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

Montoya, J. (1998). *Hormigón Armado, tomo II*.

Medina, S.W. (2006). *Manual de Ensayo de Materiales II*

ASTM C 469-02. *Standar test method for static modulus of elasticity and poisson's ratio of concrete in compression*.

Norma Técnica Ecuatoriana (2001). *Instituto Ecuatoriano de Normalización*.

Ocaña, J. (2012). *Estudio del Módulo de elasticidad estático del hormigón en base a la resistencia a la compresión ($f'c = 21, 28 \text{ Mpa}$) fabricado con material de la mina de Pintag*. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Vargas, L. (2010). *Módulo de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión simple $f'c = 21 \text{ MPa}$. Y 30 MPa* . Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Tamayo, J.D. (2011) *Los agregados de las minas ubicadas junto a la vía Puyo – madre tierra provincia de Pastaza y su incidencia en la resistencia del hormigón*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

Villegas, F. (2008). *Módulos de elasticidad y curvas de esfuerzo deformación, en base a la compresión del hormigón a 21, 28, 35 Mpa*. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.

<http://www.buenastareas.com/ensayos/CalidadDeLosAgregados/1224851.htm>

http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_de_materiales

<http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi200/ensayodemateriales/Ensayos/Index.htm>

http://es.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A1nica_de_suelos

<http://www.ingenierocivilinfo.com/modulo-de-elasticidad-del-hormigon.html>

<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/246>

2. ANEXOS

2.1 IMÁGENES DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL DEL CEMENTO



CANTERA PLAYA LLAGCHOA



ELABORACIÓN DE HORMIGÓN



DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA



ELABORACIÓN DE CILINDROS



CURADO DE LAS PROBETAS



TOMA DE DATOS DE CILINDROS



ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS



ENSAYO DE COMPRESIÓN CON COMPRESÓMETRO



2.2 NORMAS EMPLEADAS

NTE INEN 156:2009: CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.

NTE INEN 1579:2013: HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (MÉTODO GRAVIMÉTRICO)

NTE INEN 1 578:2010: HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO.

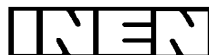
NTE INEN 1 576:2011: HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO

NTE INEN 1 573:2010: HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO.

ASTM C469 – 02: MÉTODO ESTÁNDAR DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL MODULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y LA RELACIÓN DE POISSON DEL HORMIGÓN EN COMPRESIÓN.

ACI 318S-05: REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL.

ACI 363R-92: STATE-OF-THE-ART REPORT ON HIGH-STRENGTH CONCRETE.



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

**FE DE ERRATAS
(2009-07-01)**

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

**NTE INEN 156:2009
Segunda revisión**

CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.

Primera Edición

HYDRAULIC CEMENT. DETERMINATION OF DENSITY.

First Edition

En la página 3. Numeral 4.6.2

Reemplazar "(ver nota 5)" por "(ver nota 6)"

En la página 3. Numeral 4.7.1

Reemplazar "(ver nota 6)" por "(ver nota 7)"

En la página 3. Numeral 4.7.2

Reemplazar "(ver nota 6)" por "(ver nota 7)"

En la página 3. Notas

Reemplazar "NOTA 5" por "NOTA 6".

Reemplazar "NOTA 6" por "NOTA 7".

DESCRIPTORES: Materiales de construcción, cemento hidráulico, ensayos.
CO 02.02-305
CDU: 666.94 :620.1
CIIU: 3692
ICS: 91.100.10



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 156:2009
Segunda revisión

CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.

Primera Edición

HYDRAULIC CEMENT. DETERMINATION OF DENSITY.

First Edition

DESCRIPTORES: Materiales de construcción, cemento hidráulico, ensayos.
CO 02.02-305
CDU: 666.94:620.1
CIU: 3692
ICS: 91.100.10

**Norma Técnica
Ecuatoriana
Voluntaria**

**CEMENTO HIDRÁULICO.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.**

**NTE INEN
156:2009
Segunda revisión
2009-06**

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico, mediante el método del frasco volumétrico de Le Chatelier.

2. ALCANCE

2.1 Este método se relaciona con el diseño y control de mezclas de hormigón.

2.2 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 151 y la que a continuación se detalla:

3.1.1 *Densidad del cemento hidráulico ρ* . La densidad del cemento hidráulico está definida como la masa de un volumen unitario de los sólidos.

4. MÉTODO DE ENSAYO

4.1 Resumen. La determinación de la densidad de cemento hidráulico consiste en establecer la relación entre una masa de cemento y el volumen del líquido no reactivo que esta masa desplaza en el frasco de Le Chatelier.

4.2 Equipos

4.2.1 *Balanza*, con una precisión de 0,05 g

4.2.2 *Termómetro*, graduado con divisiones de 0,1°C

4.2.3 *Recipiente para baño de agua*, capaz de mantener una temperatura constante, con una variación máxima de 0,2°C.

4.2.4 *Frasco Le Chatelier*. Un frasco normalizado que tiene la sección transversal circular con forma y dimensiones esencialmente coincidentes con la Fig. 1, (ver nota 1). Los requerimientos de tolerancia considerados, acerca de inscripción y longitud, espaciamiento y uniformidad de graduación, deben ser rígidamente observados. La separación entre la marca de mayor graduación y el punto mas bajo del esmerilado del tapón de cristal, debe ser de por lo menos de 10 mm.

NOTA 1. El diseño tiene por objeto garantizar el drenaje completo del frasco cuando se vacíe y la estabilidad cuando está de pie sobre una superficie nivelada, así como la exactitud y la precisión de la lectura.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Materiales de construcción, cemento hidráulico, ensayos.

4.2.4.1 Debe ser fabricado con un cristal de excelente calidad, transparente y libre de arrugas o estrías. El cristal debe ser químicamente resistente y debe tener una pequeña histéresis térmica. Los frascos deben ser templados completamente antes de ser graduados. Deben tener un espesor suficiente para asegurar una resistencia razonable a la rotura.

4.2.4.2 El cuello debe ser graduado desde 0 a 1 cm³ y desde 18 cm³ a 24 cm³, en graduaciones de 0,1 cm³. El error de cualquier capacidad indicada no deberá ser mayor que 0,05 cm³.

4.2.4.3 Cada frasco debe llevar un número de identificación permanente y el tapón debe mantener el mismo número, a no ser que estos sean intercambiables. Las partes de cristal intercambiables deben ser marcadas en ambas secciones con un símbolo ahusado, seguido por la designación del tamaño. La temperatura normalizada debe ser indicada y la unidad de capacidad mostrada con las letras "mL" (ver nota 2) colocadas sobre la marca de graduación mas alta.

4.2.5 Se permite el uso de equipo o métodos alternativos para determinar la densidad, a condición de que el mismo operador pueda obtener resultados dentro de $\pm 0,03 \text{ g/cm}^3$ o Mg/m^3 (ver nota 3) de los resultados obtenidos utilizando el método del frasco.

4.3 Reactivos y materiales. En la determinación de la densidad se debe utilizar querosén libre de agua, o nafta, que tenga una densidad mayor que $0,73 \text{ g/cm}^3$ a $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.4 Preparación de la muestra

4.4.1 Realizar el ensayo para determinar la densidad del cemento en el material tal como se recibe, a menos que se especifique de otro modo. Si se requiere la determinación de la densidad en una muestra libre de pérdidas, primero se debe calcinar la muestra como se describe en la sección 16.1 de la norma ASTM C 114.

4.4.2 Para cemento portland, pesar alrededor de 64 g con una aproximación de 0,05 g.

4.5 Procedimiento

4.5.1 Llenar el frasco con cualquiera de los líquidos especificados en 4.3 hasta un punto en la parte baja del cuello entre las marcas 0 cm³ y 1 cm³, (ver nota 4). Si es necesario, se debe secar el interior del frasco sobre el nivel del líquido después de llenarlo. Registrar la primera lectura después de sumergir el frasco en un baño de agua (ver nota 5) de acuerdo con 4.5.3.

4.5.2 El cemento, previamente pesado se introduce en pequeños incrementos a la misma temperatura que el líquido, evitando salpicaduras (ver nota 4), observar que el cemento no se adhiera al interior del frasco sobre el líquido. Un aparato vibrador puede ser utilizado para acelerar la introducción del cemento dentro del frasco y para prevenir que el cemento se atasque en el cuello. Después de que todo el cemento ha sido introducido, colocar el tapón en el frasco, rodarlo en posición inclinada (ver nota 4), o suavemente girarlo en círculos horizontales, de manera de liberar el aire hasta que ya no suban burbujas a la superficie del líquido. Si ha sido añadida una cantidad adecuada de cemento, el nivel del líquido estará en su posición final en algún punto de las graduaciones en la parte superior del cuello. Registrar la lectura final después de que el frasco ha sido sumergido en el baño de agua de acuerdo con 4.5.3.

4.5.3 Sumergir el frasco en un baño de agua a temperatura constante por períodos de tiempo suficientes, con el fin de evitar variaciones de temperatura en el frasco mayores a $0,2^\circ\text{C}$ entre las lecturas inicial y final.

NOTA 2. Los frascos comercializados internacionalmente llevan generalmente la marca "mL" como medida de volumen, que equivale a centímetros cúbicos en el SI.

NOTA 3. La densidad en megagramos por metro cúbico (Mg/m^3) es numéricamente igual a gramos por centímetro cúbico (g/cm^3).

NOTA 4. Es aconsejable utilizar un cojín de caucho sobre la superficie de la mesa al llenar o hacer rodar el frasco.

NOTA 5. Antes de añadir el cemento al frasco, se puede colocar como masa un anillo de plomo que calce holgadamente alrededor del cuello del frasco, que es útil para mantener el frasco en posición vertical en el baño de agua o se puede sostener el frasco en el baño de agua con una pinza de buretas.

(Continúa)

4.6 Cálculos

4.6.1 La diferencia entre las lecturas inicial y final representa el volumen del líquido desplazado por la masa del cemento utilizado en el ensayo.

Calcular la densidad del cemento, ρ , de la siguiente manera.

$$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)} = \text{(Mg/m}^3\text{)} = \frac{\text{masa del cemento, g}}{\text{volumen desplazado, cm}^3}$$

4.6.2 Para la dosificación y control de mezclas de hormigón, la densidad puede ser más útil expresada como gravedad específica que es un número adimensional. Calcular la gravedad específica de la siguiente manera (ver nota 5):

$$\text{Gr. esp} = \frac{\text{densidad del cemento}}{\text{densidad del agua a 4}^\circ\text{C}}$$

4.7 Precisión y desviación

4.7.1 Se ha encontrado que la desviación estándar para un solo operador para cemento portland es de 0,012; por lo tanto, el resultado de dos ensayos adecuadamente realizados por el mismo operador en el mismo material no debe diferir en más de 0,03 (ver nota 6).

4.7.2 Se ha encontrado que la desviación estándar multilaboratorios para cemento portland es 0,037; por lo tanto el resultado de dos ensayos adecuadamente realizados por dos laboratorios diferentes en muestras del mismo cemento no deben diferir en más de 0,10, (ver nota 6).

4.7.3 Ya que no hay material de referencia aceptado que sea adecuado para determinar alguna desviación, que pueda ser asociada con este método de ensayo, no se hace ninguna declaración sobre desviación.

4.8 Informe de resultados

4.8.1 Se debe elaborar un informe que contenga por lo menos los siguientes datos:

- a) marca y tipo de cemento,
- b) fechas de fabricación, muestreo y ensayo,
- c) variación de temperatura en el frasco,
- d) nombre del laboratorista que efectuó el ensayo,
- e) densidad del cemento, ρ , en g/cm³ o Mg/m³,
- f) cualquier otro detalle necesario para la completa identificación de la muestra ensayada.

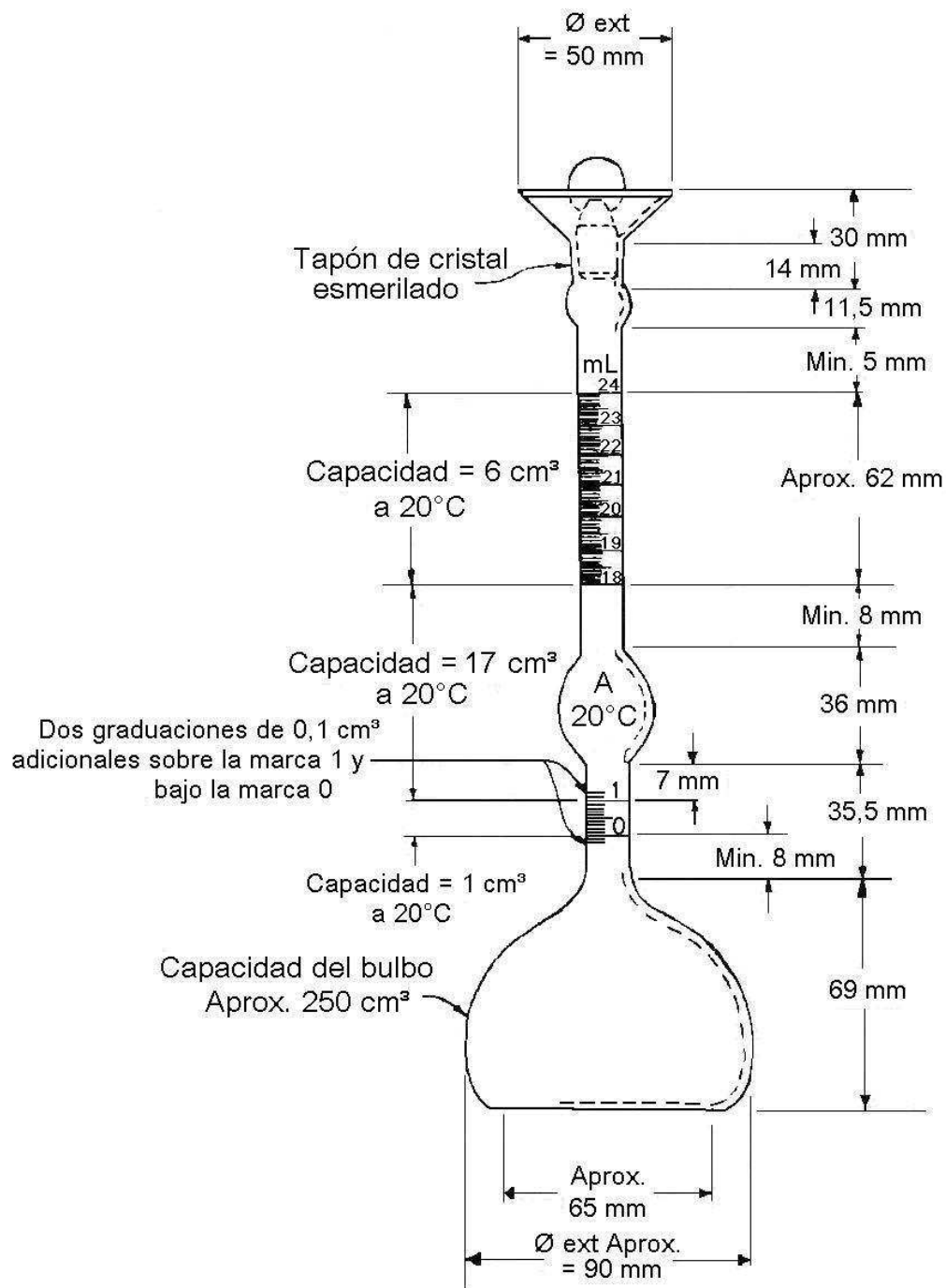
NOTA 5. La densidad del agua a 4 °C es de 1 Mg/m³ (1 g/cm³).

NOTA 6. Estos números representan los límites 1s y 2s descritos en la norma ASTM C 670.

(Continúa)

ANEXO A

FIGURA 1. Frasco de Le Chatelier para el ensayo de densidad.



NOTAS:

- El volumen desplazado en mililitros (ml) es numéricamente igual al volumen desplazado en centímetros cúbicos ($1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3$).
- Deben esperarse variaciones de unos pocos milímetros en dimensiones tales como la altura total del frasco, diámetro de la base, etc., y no deben ser consideradas causa suficiente para rechazo. Las dimensiones del frasco mostrado en la Fig. 1 se aplican solo a frascos nuevos y no para frascos en uso que cumplen con los otros requerimientos de esta norma

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 151	<i>Cemento. Definición de términos relacionados con el cemento hidráulico. (Segunda revisión)</i>
Norma ASTM C 114	<i>Métodos de Ensayo para Análisis Químico del Cemento Hidráulico.</i>
Norma ASTM E 670	<i>Norma para la Preparación de Declaraciones de Precisión y Desviación para Métodos de Ensayo para Materiales de Construcción</i>

Z.2 BASE DE ESTUDIO

Norma ASTM C 188 – 03. *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2003.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 156 Segunda revisión
TÍTULO: CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD
Código: CO 02.02-305

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo 1987-02-25 Oficialización con el Carácter de Obligatoria por Resolución No. 169 de 1987-03-09 publicado en el Registro Oficial No. 722 DE 1987-07-06 Fecha de iniciación del estudio:
--	--

Fechas de consulta pública: de _____ a _____

Subcomité Técnico: CEMENTOS
Fecha de iniciación: 2007-11-21
Integrantes del Subcomité Técnico:

Fecha de aprobación: 2008-01-18

NOMBRES:	INSTITUCIÓN REPRESENTADA:
Ing. Raúl Camaniero (Presidente)	FACULTAD DE INGENIERÍA. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
Ing. Jaime Salvador	INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO
Ing. Patricia Moreno	HOLCIM S.A. (CEMENTOS)
Ing. Hugo Egüez	HOLCIM S.A. (AGREGADOS)
Sr. Carlos Aulestia	LAFARGE CEMENTOS S.A.
Ing. Luis Quinteros	CEMENTO CHIMBORAZO C.A.
Ing. Patricio Ruiz	CEMENTOS GUAPÁN S.A.
Ing. Raúl Ávila	HORMIGONES HÉRCULES S.A.
Ing. Guillermo Realpe	FACULTAD DE INGENIERÍA. UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
Ing. Washington Benavides	FACULTAD DE INGENIERÍA. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
Ing. Carlos Proaño	MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA.
Ing. Miguel Altamirano	HORMIGONES DEL VALLE
Ing. Xavier Herrera	HORMIGONERA QUITO.
Ing. Carlos Castillo (Pro Secretario Técnico)	INECYC

Otros trámites:

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2009-02-27

Oficializada como: Voluntaria
Registro Oficial No. 616 de 2009-06-19

Por Resolución No. 018-2009 de 2009-03-24

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección General: E-Mail: direccion@inen.gov.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail: certificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail: verificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: inenlaboratorios@inen.gov.ec
Regional Guayas: E-Mail: inenguayas@inen.gov.ec
Regional Azuay: E-Mail: inencuenca@inen.gov.ec
Regional Chimborazo: E-Mail: inenriobamba@inen.gov.ec
URL: www.inen.gov.ec**



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1579:2013

HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (MÉTODO GRAVIMÉTRICO)

Primera edición

CONCRETE OF HYDRAULIC CEMENT. DENSITY, YIELD AND AIR CONTENT (GRAVIMETRIC METHOD) DETERMINATION

First edition

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, hormigón, hormigón de cemento hidráulico, densidad rendimiento, contenido de aire, método gravimétrico, ensayo.

CO 02.10-334

CDU: 669.94:620.1

CIIU: 3692

ICS: 11.100.30

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (MÉTODO GRAVIMÉTRICO)	NTE INEN 1579:2013 2013-03
---	---	---

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar la densidad del hormigón recién mezclado y proporciona las fórmulas para calcular el rendimiento, el contenido de cemento y el contenido de aire del hormigón de cemento hidráulico.

2. ALCANCE

2.1 Este método de ensayo se aplica a hormigones con densidades que están entre 1 850 kg/m³ y 2 480 kg/m³. Este método de ensayo no es aplicable a hormigones utilizados en la fabricación de tuberías y unidades para albañilería.

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma, se adopta la siguiente definición:

3.1.1 Rendimiento. Es el volumen de hormigón producido en una mezcla, de la que se conocen las cantidades de los materiales componentes.

4. SIMBOLOGÍA

A = Contenido de aire en el hormigón (porcentaje de vacíos)

C = Contenido real de cemento, (kg/m³)

C_b = Masa del cemento en la amasada, (kg)

D = Densidad del hormigón, (kg/m³)

M = Masa total de todos los materiales en la amasada, (kg) (ver nota 1)

M_c = Masa del recipiente de medición lleno con hormigón, (kg)

M_m = Masa del recipiente de medición, (kg)

R_y = Rendimiento relativo

T = Densidad teórica del hormigón calculada en una condición libre de aire, (kg/m³) (ver nota 2),

Y = Rendimiento, volumen del hormigón producido por amasada, (m³)

Y_d = Volumen teórico del hormigón en el diseño de mezcla, (m³)

Y_f = Volumen del hormigón producido por amasada, (m³)

V = volumen absoluto total de los ingredientes que componen la amasada, (m³)

V_m = Volumen del recipiente de medición, (m³)

NOTA 1. La masa total de todos los materiales en la amasada es la suma de las siguientes masas: cemento, árido fino (en la condición de uso), árido grueso (en la condición de uso), agua de mezcla añadida a la amasada y de cualquier otro material sólido o líquido utilizado.

NOTA 2. La densidad teórica es generalmente determinada en el laboratorio, este valor se supone que permanece constante para todas las amasadas elaboradas con ingredientes y proporciones idénticos. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{M}{V} \quad (1)$$

El volumen absoluto de cada ingrediente en metros cúbicos es igual a la masa del ingrediente en kilogramos dividido para 1 000 veces su gravedad específica. Para los áridos, la masa y la gravedad específica deben ser determinadas en la condición saturada superficialmente seca. Para el cemento, la densidad real debe ser determinada mediante el procedimiento de la NTE INEN 156. Para el cemento que cumple con los requisitos de la NTE INEN 152, se puede utilizar un valor de 3,15.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, hormigón, hormigón de cemento hidráulico, densidad rendimiento, contenido de aire, método gravimétrico, ensayo.

5. DISPOSICIONES GENERALES

5.1 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras, y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

5.2 El texto de esta norma hace referencia a notas en pie de página, las cuales proveen material explicativo y no deben ser consideradas como requisitos de esta norma.

6. MÉTODO DE ENSAYO

6.1 Resumen. La muestra de hormigón para este ensayo se la obtiene de acuerdo con la NTE INEN 1763. Una vez determinada la masa del hormigón compactada dentro de un recipiente, se relaciona para el volumen del mismo obteniéndose de esta forma la densidad del hormigón. El método de compactación es elegido en función de la consistencia del hormigón.

6.2 Equipos

6.2.1 Balanza. Una balanza o una báscula, que tenga una exactitud de 45 g o dentro del 0,3% de la carga de ensayo, el que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso. Se considera que el rango de uso se extiende desde el valor de la masa del recipiente de medición vacío hasta el valor de la masa del recipiente más su contenido con una densidad de 2 600 kg/m³.

6.2.2 Varilla de compactación. Debe ser una varilla recta, lisa, de acero, con un diámetro de 16 mm ± 2 mm. La longitud de la varilla debe ser de al menos 100 mm mayor que la profundidad del recipiente de medición en el cual se va a realizar la compactación, pero no superior a 600 mm de longitud total (ver nota 3). La varilla debe tener el borde compactador o ambos extremos redondeados con una punta semiesférica del mismo diámetro de la varilla.

6.2.3 Vibradores internos. Que tengan ejes rígidos o flexibles, de preferencia impulsados por motores eléctricos. La frecuencia de vibración debe ser de 7 000 vibraciones por minuto o superior, mientras está en uso. El diámetro exterior o la dimensión lateral del elemento vibrante debe ser al menos de 19 mm, pero no superior a 38 mm. La longitud del eje debe ser de al menos 600 mm.

6.2.4 Recipiente de medición. Un contenedor cilíndrico de acero o de otro metal apropiado (ver nota 4). La capacidad mínima del recipiente debe cumplir con los requisitos de la tabla 1 en función del tamaño nominal del árido en el hormigón que se va a ensayar. Todos los recipientes, excepto los recipientes de medición de aire los cuales se utilizan también para los ensayos de esta norma, deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 858. Cuando se utilizan los recipientes para medición de aire, deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 231 y estar calibrado para el volumen descrito en la NTE INEN 858. El borde superior del medidor de aire debe ser liso y plano dentro de 0,3 mm (ver nota 5).

NOTA 3. Una varilla con longitud de 400 mm a 600 mm cumple con los requisitos de esta y las siguientes normas: NTE INEN 1576, NTE INEN 1578, ASTM C 138, ASTM C 173 y ASTM C 231.

NOTA 4. El metal no debe ser fácilmente atacable por la pasta de cemento. Sin embargo, se pueden utilizar materiales reactivos, tales como las aleaciones de aluminio, en los casos en que como consecuencia de una reacción inicial, se forme rápidamente una película superficial que proteja el metal contra la corrosión.

NOTA 5. Se considera que el borde superior plano es adecuado, si no es posible insertar un calibrador de 0,3 mm entre el anillo y una placa de vidrio de 6 mm de espesor o más grueso colocada sobre el borde del recipiente de medición.

TABLA 1. Capacidad del recipiente de medición

Tamaño máximo nominal del árido grueso (mm)	Capacidad del recipiente de medición ^A	
	(L)	(m ³)
25,0	6	0,006
37,5	11	0,011
50	14	0,014
75	28	0,028
112	70	0,070
150	100	0,100

^A Se debe utilizar el tamaño indicado del recipiente para el ensayo del hormigón que contenga áridos de un tamaño máximo nominal igual o menor señalado en esta tabla. El volumen real del recipiente de medición debe ser de al menos el 95% del volumen nominal indicado.

6.2.5 Placa de enrasado. Una placa plana rectangular de metal, con un espesor de al menos 6 mm o una placa de vidrio o de acrílico de al menos 12 mm de espesor, con una longitud y un ancho de al menos 50 mm mayor que el diámetro del recipiente de medición que se va a utilizar. Los bordes de la placa deben ser rectos y lisos con una tolerancia de 2 mm.

6.2.6 Martillo. Con cabeza de goma o de cuero, debe tener una masa de 600 g \pm 200 g cuando se lo utiliza con recipientes de 14 litros o menores y con una masa de 1 000 g \pm 200 g cuando se lo utiliza con recipientes de mayor capacidad que 14 litros.

6.2.7 Cucharón. De un tamaño suficientemente grande para que cada cantidad de hormigón obtenida del recipiente en el que se tomó la muestra, sea representativa y lo suficientemente pequeña para que el hormigón no se derrame durante la colocación en el molde.

6.3 Muestreo. Obtener la muestra de hormigón recién mezclado, de acuerdo con la NTE INEN 1763.

6.4 Procedimiento

6.4.1 A menos que en las especificaciones se indique el método de compactación, este se escogerá en función al asentamiento de la mezcla. Los métodos de compactación son: compactación por varillado y vibración interna. Se debe compactar por varillado el hormigón con un asentamiento mayor a 75 mm, compactar por varillado o vibrar el hormigón con un asentamiento entre 25 mm a 75 mm y vibrar el hormigón con un asentamiento menor a 25 mm (ver nota 6).

6.4.2 Colocar el hormigón en el recipiente de medición utilizando el cucharón que se describe en el numeral 6.2.7. Mover el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del recipiente para asegurar una distribución uniforme del hormigón y con mínima segregación. Llenar el recipiente con el número de capas requeridas por el método de compactación, ver numerales 6.4.3 o 6.4.4.

6.4.3 Compactación por varillado. Colocar el hormigón en el recipiente en tres capas de aproximadamente igual volumen. Compactar cada capa introduciendo 25 veces la varilla de compactación, cuando se utilice un recipiente de volumen nominal de 14 litros o menor, con 50 veces cuando se utilice un recipiente de volumen nominal de 28 litros y una vez por cada 20 cm² de la superficie para recipientes mayores. Compactar cada capa uniformemente sobre la sección transversal con el extremo redondeado de la varilla, empleando el número requerido de inserciones. Compactar la capa inferior en toda su profundidad. En la compactación de esta capa, se debe tener cuidado de no dañar el fondo del recipiente. Para cada capa superior, permitir que la varilla penetre toda la capa que está siendo compactada e ingrese a la capa inferior aproximadamente 25 mm. Luego de que cada capa sea compactada, golpear los lados del recipiente de 10 a 15 veces con el martillo apropiado (ver el numeral 6.2.6) con una fuerza tal para cerrar cualquier agujero dejado por la varilla y eliminar cualquier burbuja grande de aire que hubiere sido atrapada. Colocar la capa final evitando un llenado excesivo.

NOTA 6. Este método de ensayo no se aplica para el hormigón sin plasticidad, comúnmente utilizado en la fabricación de tuberías y unidades de albañilería.

6.4.4 Vibración interna. Llenar y vibrar el recipiente en dos capas aproximadamente iguales. Colocar todo el hormigón para cada capa en el recipiente antes de iniciar la vibración de esa capa. Insertar el vibrador en tres puntos diferentes para cada capa. En la compactación de la capa inferior, no permitir que el vibrador permanezca o toque el fondo o los lados del medidor. En la compactación de la capa final, el vibrador debe penetrar en la capa subyacente aproximadamente 25 mm. Tener cuidado de retirar el vibrador de tal manera que no se produzcan bolsas de aire en el espécimen. La duración requerida de la vibración depende de la trabajabilidad del hormigón y de la efectividad del vibrador (ver nota 7). Continuar la vibración únicamente hasta lograr una compactación adecuada del hormigón (ver nota 8). Mantener una duración constante de la vibración para cada tipo particular de hormigón, de vibrador y de recipiente involucrados.

6.4.5 Al término de la compactación, el recipiente no debe contener un exceso notable o deficiencia de hormigón. Se considera óptimo un exceso de hormigón que sobresale aproximadamente 3 mm sobre la parte superior del molde. Se puede añadir una pequeña cantidad de hormigón para corregir alguna deficiencia. Si el recipiente contiene un gran exceso de hormigón en la finalización de la compactación, retirar una porción representativa del exceso de hormigón con una paleta o un cucharón inmediatamente después de finalizar la compactación y antes de realizar el enrasado en el recipiente.

6.4.6 Enrasado. Luego de la compactación, enrasar la superficie del hormigón y alisarlo utilizando la placa de enrasado, de manera que el recipiente quede lleno y nivelado. Enrasar el hormigón presionando la placa de enrasado sobre la parte superior del recipiente hasta cubrir alrededor de dos tercios de la superficie y retirar la placa con un movimiento de corte para terminar solamente el área cubierta. A continuación, colocar la placa sobre el borde superior del recipiente para cubrir dos tercios de la superficie y avanzar con una presión vertical y un movimiento de corte para cubrir toda la superficie del recipiente y continuar avanzando hasta que se deslice completamente fuera del recipiente. Inclinar la placa y realizar varias pasadas finales con el borde de la placa para obtener una superficie lisa.

6.4.7 Limpieza y pesaje. Luego del enrasado, limpiar todo el exceso de hormigón del exterior del recipiente y determinar la masa del hormigón y recipiente con una precisión consistente con los requisitos del numeral 6.2.1.

6.5 Cálculos

6.5.1 Densidad. Calcular la masa neta del hormigón en kilogramos, restando la masa del recipiente, M_m , de la masa del recipiente lleno con hormigón, M_c . Calcular la densidad, D , dividiendo la masa neta de hormigón para el volumen del recipiente, V_m , de la siguiente manera:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m} \quad (2)$$

6.5.2 Rendimiento. Calcular el rendimiento de la siguiente manera:

$$Y \text{ (m}^3\text{)} = \frac{M}{D} \quad (3)$$

6.5.3 Rendimiento relativo. El rendimiento relativo es el cociente entre el volumen real del hormigón obtenido respecto al volumen de diseño de la amasada (ver nota 9), calculado de la siguiente manera:

NOTA 7. Por lo general, el hormigón ha sido suficientemente vibrado cuando su superficie se torne relativamente lisa.

NOTA 8. El exceso de vibración puede causar segregación y pérdida de cantidades apreciables del aire que ha sido intencionalmente incorporado.

NOTA 9. Un valor de R_y mayor a 1,00 indica un exceso del hormigón que se produce mientras que un valor inferior indica que la amasada "tiene un volumen menor" al volumen de diseño.

$$R_y = \frac{Y}{Y_d} \quad (4)$$

6.5.4 Contenido de cemento. Calcular el contenido real de cemento de la siguiente manera:

$$C = \frac{C_b}{Y} \quad (5)$$

6.5.5 Contenido de aire. Calcular el contenido de aire de la siguiente manera:

$$A = \frac{T-D}{T} \times 100 \quad (6)$$

o

$$A = \frac{Y-V}{Y} \times 100 \quad (7)$$

6.6 Informe de resultados. Se debe elaborar un informe de resultados que contenga al menos lo siguiente:

- a) Laboratorio y fecha de ensayo,
- b) Identificación de hormigón representado por la muestra,
- c) Volumen de la densidad medida, con una precisión de 0,01 litros,
- d) Densidad, con una precisión de 1,0 kg/m³,
- e) Rendimiento, cuando se lo solicite, con una precisión de 0,1 m³,
- f) Rendimiento relativo, cuando se lo solicite, con una precisión de 0,01,
- g) Contenido de cemento, cuando se lo solicite, con una precisión de 0,5 kg,
- h) Contenido de aire, cuando se lo solicite, con una precisión de 0,1%, e,
- i) Otros detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

6.7 Precisión y desviación

6.7.1 Las estimaciones de precisión para este método de ensayo se basan en la recolección de datos por la National Ready Mixed Concrete Association (ver nota 10). Los datos representan mezclas de hormigón con un asentamiento de 75 mm a 150 mm y la densidad está en un rango entre 1 842 kg/m³ a 2 483 kg/m³ e incluye hormigones con aire incorporado y sin aire incorporado. El estudio se realizó utilizando recipientes de medición de 7 litros y de 14 litros.

6.7.1.1 Precisión para un solo operador. Se ha encontrado que la desviación estándar de un solo operador para la densidad del hormigón recién mezclado es de 10,4 kg/m³ (1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados por el mismo operador, en la misma muestra de hormigón no deben diferir en más de 29,6 kg/m³ (d2s) (ver nota 11).

6.7.1.2 Precisión para varios operadores. Se ha encontrado que la desviación para varios operadores para la densidad del hormigón recién mezclado es de 13,1 kg/m³ (1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados por dos operadores, en la misma muestra de hormigón no deben diferir en más de 37,0 kg/m³ (d2s) (ver nota 11).

6.7.2 Desviación. Este método de ensayo no tiene desviación porque la densidad está definida solamente en términos de este método de ensayo.

NOTA 10. Mullings, G. M., NRMCA/NAA Joint Research Lab Study "Series D324 Accuracy of Concrete Density Test," Feb. 17, 2000.C09.

NOTA 11. Estos números representan los límites (1s) y (d2s), respectivamente, como se describen en la norma ASTM C 670.

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 152	<i>Cemento portland. Requisitos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 156	<i>Cemento hidráulico. Determinación de la densidad.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 858	<i>Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1576	<i>Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1578	<i>Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1763	<i>Hormigón de cemento hidráulico. Muestreo.</i>
Norma ASTM C 138	<i>Método de ensayo para determinar la densidad (masa unitaria), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del hormigón.</i>
Norma ASTM C 173	<i>Método de ensayo para determinar el contenido de aire en el hormigón mezclado fresco, por el método volumétrico.</i>
Norma ASTM C 231	<i>Método de ensayo para determinar el contenido de aire en el hormigón mezclado fresco, por el método de presión.</i>
Norma ASTM C 670	<i>Práctica para la preparación de informes de precisión y desviación para métodos de ensayo para materiales de construcción</i>

Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 138 – 10b. *Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.* American Society for Testing and Materials. 2010.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 1579 **TÍTULO:** HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. **Código:** CO 01.10-334
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (MÉTODO GRAVIMÉTRICO)

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo Oficialización con el Carácter de por Acuerdo Ministerial No. publicado en el Registro Oficial No. Fecha de iniciación del estudio:
--	--

Fechas de consulta pública: de _____ a _____

Subcomité Técnico: **Hormigones, áridos y morteros**
Fecha de iniciación: 2012-01-26 Fecha de aprobación: 2012-01-26
Integrantes del Subcomité Técnico:

NOMBRES:

Ing. Guillermo Realpe (Presidente)

Sr. Carlos Aulestia
Ing. Carlos González
Arq. Karla Balladares
Ing. Patricio Torres
Ing. Marlon Valarezo

Ing. Víctor Buri
Ing. Xavier Herrera
Sr. Franco Jaramillo
Ing. Luisa Flores

Ing. Robinson Galarza
Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL
ECUADOR
LAFARGE CEMENTOS S. A.
INTACO ECUADOR S. A.
INTACO ECUADOR S. A.
DICOPLAN CIA. LTDA
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE
LOJA
HORMIGONES HÉRCULES S. A
HORMIGONERA QUITO CIA. LTDA.
HORMIJAMA S. A.
CÁMARA DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA
EMPRESA DE PICHINCHA
GALARAMI
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y
DEL HORMIGÓN. INECYC.

Otros trámites:

La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

Oficializada como: Voluntaria Por Resolución No. 13008 de 2013-02-05
Registro Oficial No. 907 de 2013-03-07

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección General: E-Mail: direccion@inen.gob.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail: certificacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail: verificacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: inenlaboratorios@inen.gob.ec
Regional Guayas: E-Mail: inenguayas@inen.gob.ec
Regional Azuay: E-Mail: inencuenca@inen.gob.ec
Regional Chimborazo: E-Mail: inenriobamba@inen.gob.ec
URL: www.inen.gob.ec**



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 578:2010
Primera revisión

HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO.

Primera Edición

STANDART TEST METHOD FOR SLUMP OPF HYDRAULIC – CEMENT CONCRETE.

First Edition

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, hormigón y productos de hormigón, asentamiento, ensayo.
CO 02.10-304
CDU: : 691.32:620.163.1
CIU: 3699
ICS: 91.100.30

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO	NTE INEN 1 578:2010 Primera revisión 2010-06
---	---	---

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar el asentamiento del hormigón de cemento hidráulico tanto en el laboratorio como en el campo.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma tiene por objeto proporcionar al usuario un procedimiento para determinar el asentamiento de hormigones de cemento hidráulico en estado plástico, (ver nota 1).

2.2 Este método de ensayo se aplica al hormigón en estado plástico, preparado con árido grueso con tamaño de hasta 37,5 mm. Si el tamaño del árido grueso es mayor a 37,5 mm, este método de ensayo se aplica cuando se realiza sobre la fracción de hormigón que pasa el tamiz de 37,5 mm, con la eliminación de las partículas de árido de mayor tamaño, de acuerdo con el numeral 7 de la NTE INEN 1 763.

2.3 Este método de ensayo no se aplica al hormigón no plástico y no cohesivo, (ver nota 2).

3. DISPOSICIONES GENERALES

3.1 El texto de esta norma hace referencia a notas en pie de página, las cuales proveen material explicativo y no deben ser consideradas como requisitos de esta norma.

3.2 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

3.3 **Advertencia.** Las mezclas frescas de cemento hidráulico son cáusticas y pueden causar quemaduras químicas a la piel y tejidos bajo exposición prolongada

4. MÉTODO DE ENSAYO

4.1 **Resumen.** Una muestra de hormigón recién mezclado se coloca dentro de un molde con forma de un cono truncado y se compacta con una varilla. Se levanta el molde permitiendo que el hormigón se asiente. Se mide la distancia vertical entre la altura original y la del centro desplazado de la superficie superior del hormigón, luego de su deformación. Este valor se reporta como el asentamiento del hormigón.

NOTA 1. Este método de ensayo fue desarrollado originalmente para proporcionar una técnica para monitorear la consistencia del hormigón en estado plástico. Se ha encontrado que por lo regular, en condiciones de laboratorio y con un estricto control de todos los materiales del hormigón, el asentamiento aumenta proporcionalmente con el contenido de agua en una mezcla dada de hormigón y por lo tanto es inversamente proporcional a la resistencia del hormigón; sin embargo, en condiciones de campo, dicha relación con la resistencia no se aprecia en forma clara o de manera consistente. Es por ello que se debe tener cuidado al correlacionar los resultados de asentamientos obtenidos en condiciones de campo con la resistencia.

NOTA 2. Hormigones que tienen asentamientos menores a 15 mm pueden no ser suficientemente plásticos y hormigones que tienen asentamientos mayores a 230 mm pueden no ser suficientemente cohesivos para que este ensayo sea significativo. Se debe tener precaución en la interpretación de tales resultados.

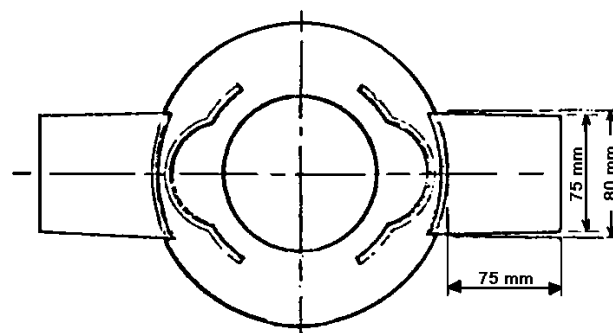
(Continúa)

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, hormigón y productos de hormigón, asentamiento, ensayo

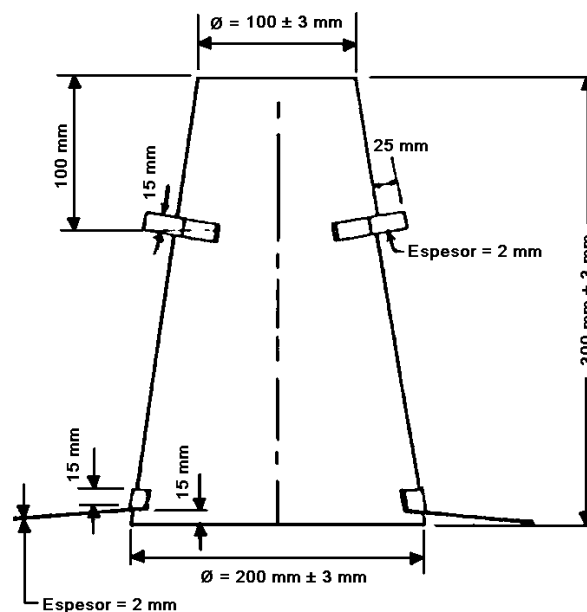
4.2 Equipos

4.2.1 Molde. El espécimen para ensayo debe ser elaborado en un molde de metal que no sea fácilmente atacado por la pasta de cemento. El metal no debe tener un espesor menor a 1,5 mm y si se forma por el proceso de rolado, no debe haber ningún punto en el molde en el que el espesor sea inferior a 1,15 mm. El molde debe tener la forma de un cono truncado, con diámetros internos de 200 mm en la base, 100 mm en la parte superior y altura de 300 mm. Los diámetros y alturas individuales deben tener una tolerancia de ± 3 mm de las dimensiones especificadas. La base y la parte superior del cono deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje longitudinal del cono. El molde debe estar provisto de dos estribos para apoyar los pies y manijas similares a los mostrados en la figura 1. Debe construirse sin costura. El interior debe estar relativamente liso y libre de imperfecciones, abolladuras, deformaciones o de mortero adherido. Puede aceptarse un molde que se sujete a una placa base no absorbente, siempre que el sistema de fijación sea tal que pueda ser liberado completamente sin movimiento del molde y que la base sea lo suficientemente grande para contener todo el volumen del hormigón asentado, para un ensayo aceptable.

FIGURA 1. Molde para ensayo de asentamiento



VISTA EN PLANTA



4.2.1.1 Verificar y registrar la conformidad de las dimensiones del molde con las especificadas, al momento de su compra o en la primera puesta en servicio y al menos una vez por año.

(Continúa)

4.2.1.2 Molde fabricado con materiales alternativos.

- a) Se permite el uso de moldes diferentes al metálico si satisfacen los siguientes requisitos: el molde debe cumplir con la forma, altura y los requisitos de dimensiones internas del numeral 4.2.1; debe ser lo suficientemente rígido para mantener las dimensiones y tolerancias especificadas durante el uso, resistente a las fuerzas de impacto y además de material no absorbente; debe demostrar que proporciona resultados comparables a los que se obtienen cuando se utiliza un molde de metal que reúne los requisitos del numeral 4.2.1, esta demostración debe ser realizada por el fabricante en un laboratorio de ensayos independiente. Los ensayos comparativos deben estar compuestos al menos por 10 pares consecutivos de comparaciones realizados con tres hormigones con asentamientos diferentes, comprendidos en el rango de 50 mm a 200 mm (ver nota 3). Ningún resultado de ensayo individual debe variar en más de 15 mm respecto al que se obtiene utilizando el molde de metal. El promedio de los resultados de ensayo de cada rango de asentamiento obtenido con el molde de material alternativo no debe variar en más de 6 mm del promedio de los resultados de ensayo obtenidos usando el molde de metal. Los datos del ensayo de comparación del fabricante deben estar a disposición de los usuarios y de las autoridades de inspección del laboratorio (ver nota 4). Si se realiza cualquier cambio en el material o en el método de fabricación se debe repetir los ensayos de comparación.
- b) Si se sospecha que cualquier molde individual esta fuera de tolerancia con relación de la condición de fabricación, se debe realizar un solo ensayo comparativo. Si los resultados difieren en más de 15 mm de los obtenidos utilizando el molde de metal, el molde debe ser retirado del servicio.

4.2.2 Varilla de compactación. Debe ser una varilla recta, lisa, de acero, de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo el extremo de compactación o los dos extremos redondeados con punta semiesférica, cuyo diámetro es de 16 mm.

4.2.3 Instrumento de medida. Puede utilizarse una regla, cinta de medir enrollada de metal o un instrumento similar de medición rígido o semirrígido, marcado en incrementos de 5 mm o menos. La longitud del instrumento debe ser de al menos 300 mm.

4.2.4 Cucharón. De un tamaño lo suficientemente grande para que cada cantidad de hormigón obtenida del recipiente de muestreo sea representativa y lo suficientemente pequeño como para que no se derrame durante la colocación en el molde.

4.3 Muestreo. La muestra de hormigón para elaborar los especímenes de ensayo debe ser representativa de toda la amasada. Debe ser obtenida de acuerdo con los procedimientos descritos en la NTE INEN 1 763.

4.4 Procedimiento

4.4.1 Humedecer el molde y colocarlo sobre una superficie plana, rígida, húmeda y no absorbente. El operador debe sostener firmemente el molde en su lugar durante el llenado y la limpieza del perímetro, parándose sobre los dos estribos o fijándolo a la placa base como se describe en el numeral 4.2.1. Inmediatamente después de obtener la muestra de hormigón, de conformidad con el numeral 4.3, llenar el molde en tres capas, cada una de aproximadamente un tercio del volumen del molde (ver nota 5). Colocar el hormigón en el molde utilizando el cucharón descrito en el numeral 4.2.4. Mover el cucharón siguiendo el perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución uniforme del hormigón con una mínima segregación.

NOTA 3. La frase "pares consecutivos de comparaciones" no significa sin interrupción o en un solo día. En una programación seleccionada por la entidad que realiza los ensayos, los pares de ensayos que conducen a 10 pares consecutivos puede llevarse a cabo en grupos pequeños. La palabra "consecutivos" no significa ignorar los pares de ensayos que no cumplan con los criterios.

NOTA 4. Debido a que el asentamiento del hormigón disminuye con el tiempo y con temperaturas elevadas, es ventajoso realizar los ensayos de comparación alternando el uso de conos de metal y los de material alternativo y la utilización de algunos técnicos para minimizar el tiempo entre los procedimientos de ensayo.

NOTA 5. El primer tercio del volumen del molde de asentamiento, se llena a una altura de 70 mm, el segundo tercio del volumen se llena a una altura de 160 mm, medidos desde la base.

(Continúa)

4.4.2 Compactar cada capa con 25 golpes utilizando la varilla de compactación. Distribuir de manera uniforme los golpes sobre la sección transversal de cada capa. Para la capa inferior, es necesario inclinar la varilla ligeramente y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro y luego continuar con golpes verticales en espiral hacia el centro. Compactar la capa inferior en toda su profundidad. Compactar la segunda capa y la capa superior, cada una en toda su profundidad, de tal manera que los golpes apenas penetren en la capa anterior.

4.4.3 Al llenar la capa superior, mantener un excedente de hormigón sobre la parte superior del molde antes de empezar la compactación. Si durante la operación de compactación, la superficie del hormigón queda por debajo del borde superior del molde, agregar más hormigón para mantener en todo momento un exceso de hormigón sobre la parte superior del molde. Después de haber compactado la capa superior, enrasar la superficie del hormigón rodando la varilla de compactación sobre el borde superior del molde. Continuar presionando el molde firmemente hacia abajo y retirar el hormigón del área que rodea la base del molde para evitar interferencias con el movimiento de asentamiento del hormigón. De inmediato retirar el molde del hormigón levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Levantar el molde en su altura de 300 mm en $5 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$ con un movimiento ascendente uniforme y sin movimientos laterales o de torsión. Completar todo el ensayo desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde sin interrupción dentro de un periodo de $2 \frac{1}{2}$ minutos.

4.4.4 Inmediatamente medir el asentamiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen. Si ocurre un desprendimiento o corte del hormigón de una parte o porción de la masa (ver nota 6), desechar el ensayo y hacer un nuevo ensayo con otra porción de la muestra.

4.5 Informe de resultados. Se debe elaborar un informe de resultados que contenga al menos lo siguiente:

- a) Fecha y lugar de ensayo,
- b) Nombre del laboratorio y del laboratorista que realizó el ensayo,
- c) Identificación de la muestra,
- d) Tipo de molde utilizado,
- e) Informar si el hormigón se ha tamizado en húmedo, para retirar partículas de tamaño mayor a 37,5 mm,
- f) El asentamiento en milímetros, con una aproximación de 5 mm de asentamiento del espécimen durante el ensayo,
- g) Otros detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

4.6 Precisión y desviación

4.6.1 Precisión. Las estimaciones de precisión de este método de ensayo se basan en los resultados de los ensayos realizados en Fayetteville, Arkansas por 15 técnicos de 14 laboratorios, que representan a 3 estados. Todos ensayados en 3 rangos de asentamiento diferentes desde 25 mm a 160 mm, fueron realizados utilizando la misma amasada de hormigón premezclado. El hormigón fue entregado y ensayado con un bajo asentamiento, para producir un hormigón de asentamiento moderado y finalmente de alto asentamiento, se le agregó agua y se lo mezcló nuevamente. En la mezcla de hormigón se utilizó una piedra caliza triturada de 19 mm (No. 67) y arena de río lavada, contenía 297 kg de material cementante por metro cúbico. Los 297 kg se dividieron por igual entre un cemento que cumple los requisitos del Tipo I / II y cenizas volantes de clase C. Se utilizó una dosis doble de un retardante químico en un intento de minimizar las pérdidas de asentamiento y mantener la trabajabilidad del hormigón. Las temperaturas del hormigón variaron desde 30°C a 34°C. Las pérdidas de asentamiento promediaron 17 mm durante los 20 minutos necesarios para realizar una serie de 6 pruebas a un rango asentamiento. Los ensayos se realizaron usando moldes de metal y plástico alternadamente, que fueron previamente seleccionados para producir resultados comparables. Los datos de precisión por lo tanto se aplican a los moldes de metal y de plástico. Se realizaron un total de 270 pruebas de asentamiento.

4.6.1.1 Medición de variabilidad. Se determinó que la desviación estándar era la medida más coherente de la variabilidad y se encontró que varía con el valor del asentamiento.

NOTA 6. Si dos ensayos consecutivos en una muestra de hormigón presentan una caída o un corte de la masa del espécimen, el hormigón probablemente carece de la plasticidad y la cohesión necesarias para que sea aplicable el ensayo de asentamiento

(Continúa)

4.6.1.2 Precisión para un solo operador. La desviación estándar para un solo operador representada por (1s) se muestra en la tabla 1 mediante valores promedio de asentamiento. Los resultados finales para las lecturas de ensayos de repetición, se aplican a los ensayos realizados por el mismo operador, llevando a cabo ensayos sucesivos, uno inmediatamente después del otro. Los resultados aceptables de dos ensayos correctamente realizados por el mismo operador en el mismo material (ver nota 7) no deben diferir entre sí en más del valor (d2s) de la última columna de la tabla 1 para el valor apropiado de asentamiento.

4.6.1.3 Precisión multilaboratorio. La desviación estándar multilaboratorio representada por (1s) se muestra en la tabla 1 mediante valores promedio de asentamiento. Los resultados finales para las lecturas de ensayos de repetición se aplican a los ensayos realizados por diferentes operadores de diferentes laboratorios, desarrollando ensayos a intervalos menores de 4 minutos. Por lo tanto, los resultados aceptables de dos ensayos de asentamiento correctamente realizados en el mismo material (ver nota 7) por dos laboratorios diferentes, no deben diferir entre sí en más del valor (d2s) de la última columna de la tabla 1 para el valor apropiado de asentamiento.

4.6.2 Desviación. Este método de ensayo no presenta desviación, debido a que el asentamiento es definido solamente en términos de este método de ensayo.

TABLA 1. Precisión

Asentamiento e Índice de tipo	Desviación estándar (1s)^A	Rango aceptable de dos resultados (d2s)^A
Precisión para un solo operador:		
Asentamiento 30 mm	6 mm	17 mm
Asentamiento 85 mm	9 mm	25 mm
Asentamiento 160 mm	10 mm	28 mm
Precisión multilaboratorio:		
Asentamiento 30 mm	7 mm	20 mm
Asentamiento 85 mm	10 mm	28 mm
Asentamiento 160 mm	13 mm	37 mm
^A Estos números representan, respectivamente, los límites (1s) y (d2s) descritos en la norma ASTM C 670.		

NOTA 7. "El mismo material" es utilizado para designar a una mezcla de hormigón fresco de una misma amasada.

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 763 *Hormigón fresco. Muestreo.*
Norma ASTM C 670 *Práctica para la preparación de informes de precisión y desviación para métodos de ensayo para materiales de construcción.*

Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 143 – 08. *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2008.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 1 578 Primera revisión
TÍTULO: HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO
Código: CO 02.10-304

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 1990-06-26 Oficialización con el Carácter de Obligatoria y Emergente por Acuerdo Ministerial No. 413 de 1990-08-20 publicado en el Registro Oficial No. 524 de 1990-09-18 Fecha de iniciación del estudio: 2009-09-14
---	--

Fechas de consulta pública: de a

Subcomité Técnico: HORMIGÓN, ÁRIDOS Y MORTEROS
Fecha de iniciación: 2009-09-18
Integrantes del Subcomité Técnico: Fecha de aprobación: 2009-10-01

NOMBRES:

Ing. Guillermo Realpe (Presidente)

Ing. José Arce (Vicepresidente)
Ing. Jaime Salvador

Ing. Raúl Ávila

Ing. Hugo Egüez
Ing. Raúl Cabrera
Sr. Carlos Aulestia
Ing. Xavier Arce
Ing. Marlon Valarezo

Arq. Soledad Moreno
Ing. Carlos González
Ing. Víctor Buri
Ing. Douglas Alejandro
Ing. Verónica Miranda

Ing. Diana Sánchez

Ing. Stalin Serrano
Ing. Xavier Herrera
Ing. Mireya Martínez
Ing. Rubén Vásquez
Ing. Víctor Luzuriaga
Ing. Patricio Torres
Ing. Luis Balarezo
Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
HORMIGONES HÉRCULES S. A.
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. INECYC.
ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE HORMIGÓN PREMEZCLADO DEL ECUADOR. APRHOPEC.
HOLCIM ECUADOR S. A. AGREGADOS
HOLCIM ECUADOR S. A. HORMIGONES
LAFARGE CEMENTOS S. A.
CÁMARA CONSTRUCCIÓN GUAYAQUIL.
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
INTACO ECUADOR S. A.
INTACO ECUADOR S. A.
HORMIGONES HÉRCULES S. A.
MUNICIPIO DE GUAYAQUIL.
COLEGIO INGENIEROS CIVILES PICHINCHA / HORMIGONES EQUINOCCIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
HORMIGONES EQUINOCCIAL.
HORMIGONERA QUITO
CAMINOSCA CIA. LTDA.
CEMENTO CHIMBORAZO C. A.
INDUSTRIAS GUAPÁN S. A.
DICOPLAN CIA. LTDA.
CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO
INECYC.

Otros trámites: ♦⁴ La NTE INEN 1 578:1990 sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA a VOLUNTARIA**, según Acuerdo Ministerial No. 235 de 1998-05-04 publicado en el Registro Oficial No. 321 del 1998-05-20.

Esta NTE INEN 1 578:2010 (Primera Revisión), reemplaza a la NTE INEN 1 578:1990

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2010-03-26

Oficializada como: **Voluntaria**
Registro Oficial No. 213 de 2010-06-14

Por Resolución No. 036-2010 de 2010-04-02

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección General: E-Mail: direccion@inen.gov.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail: certificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail: verificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: inencati@inen.gov.ec
Regional Guayas: E-Mail: inenguayas@inen.gov.ec
Regional Azuay: E-Mail: inencuenca@inen.gov.ec
Regional Chimborazo: E-Mail: inenriobamba@inen.gov.ec
URL: www.inen.gov.ec**



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 576:2011

HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO.

Primera Edición

STANDARD PRACTICE FOR MAKING AND CURING CONCRETE TEST SPECIMENS IN THE FIELD.

First Edition

DESCRIPTORES: Hormigón, cemento hidráulico, ensayos.
CO 02.10-328
CDU: 669.97
CIU: 3699
ICS: 91.100.30

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO.	NTE INEN 1 576:2011 2011-01
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece los procedimientos para elaborar y curar cilindros y vigas, tomados de muestras representativas de hormigón fresco, utilizado en la construcción de una obra.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma proporciona requisitos normalizados para la elaboración, curado, protección y transporte de especímenes de hormigón, bajo condiciones de obra</p> <p>2.2 Este procedimiento no es adecuado para elaborar especímenes de hormigón cuyo asentamiento no se pueda medir con el cono de Abrams o se requiera de tamaños o formas de especímenes diferentes a los indicados en esta norma.</p> <p>2.3 Si los especímenes son elaborados y tienen un curado normalizado, como lo establece esta norma, los resultados de los ensayos de resistencia se utilizarán para cualquiera de los siguientes propósitos:</p> <p>2.3.1 Aceptar los ensayos para la verificación de la resistencia especificada,</p> <p>2.3.2 Verificar si la dosificación de una mezcla es la adecuada para cumplir con la resistencia, y</p> <p>2.3.3 Control de calidad.</p> <p>2.4 Si los especímenes son elaborados y tienen un curado de obra, como lo establece esta norma, los resultados de los ensayos de resistencia se utilizarán para cualquiera de los siguientes propósitos:</p> <p>2.4.1 Determinar si la estructura está apta para ser puesta en servicio,</p> <p>2.4.2 Comparar los resultados de ensayo de los especímenes con curado normalizado o con otros resultados de ensayos de diversos métodos de ensayo en campo,</p> <p>2.4.3 Verificar el adecuado curado y protección del hormigón de la estructura, o</p> <p>2.4.4 Determinar el tiempo requerido para la remoción de los puntales y encofrados.</p> <p style="text-align: center;">3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Para efectos de esta norma se adoptan las definiciones de la NTE INEN 694.</p> <p style="text-align: center;">4. DISPOSICIONES GENERALES</p> <p>4.1 El hormigón utilizado para moldear los especímenes debe ser muestreado después de que se hayan realizado en la obra, todos los ajustes a la dosificación de la mezcla, incluyendo la adición de agua de mezcla y los aditivos.</p> <p>4.2 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Hormigón, cemento hidráulico, ensayos.</p>		

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

4.3 Advertencia. Las mezclas frescas de cemento hidráulico son cáusticas y pueden causar quemaduras químicas a la piel y tejidos bajo exposición prolongada.

4.4 El texto de esta norma hace referencia a notas en pie de página, las cuales proveen material explicativo. Estas notas no deben ser consideradas como requisitos de esta norma.

5. MÉTODO DE ENSAYO

5.1 Resumen. Al hormigón fresco, una vez realizados los ajustes necesarios, se lo muestrea y se determinan sus características físicas, siguiendo procedimientos normalizados. Seguidamente se toman muestras de hormigón en los moldes especificados para el proyecto, los que pueden ser cilindros o vigas, de acuerdo a los procedimientos que se indican en esta norma; la compactación puede ser ejecutada por varillado o por vibración según lo indicado en las especificaciones. A los especímenes se les proporciona el curado inicial y final normalizado o curado de obra, dependiendo del propósito de los resultados del ensayo de los especímenes.

5.2 Equipos

5.2.1 Moldes, generalidades. Los moldes para elaborar especímenes, así como las bisagras y seguros que estén en contacto con el hormigón, deben ser elaborados de: acero, hierro fundido u otro material no absorbente, no reactivo con el hormigón de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico. Los moldes deben mantener sus dimensiones y forma, bajo cualquier condición de uso; deben ser impermeables durante su uso, comprobándose por su capacidad para mantener el agua vertida en su interior. Las condiciones para los ensayos de estanqueidad están dadas en los métodos de ensayo de elongación, absorción y estanqueidad de la norma ASTM C 470. Se puede utilizar un sellante adecuado como grasa pesada, arcilla moldeable o cera microcristalina, cuando sea necesario prevenir la fuga de agua a través de las juntas. Se deben proveer los seguros necesarios para sujetar firmemente las bases a los moldes. Los moldes reutilizables deben ser cubiertos ligeramente en su interior, con aceite mineral o con un material desmoldante no reactivo, antes de su uso.

5.2.2 Moldes para cilindros. Los moldes para la elaboración de especímenes para ensayo de hormigón deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 470.

5.2.3 Moldes para vigas. Los moldes para la elaboración de vigas deben tener la forma y dimensiones requeridas para producir los especímenes estipulados en el numeral 5.3.2. Las superficies interiores de los moldes deben ser lisas; los lados, el fondo y los bordes deben ser perpendiculares entre sí, ser rectos y no presentar deformaciones. La variación máxima de la sección transversal nominal no debe exceder de 3 mm, para moldes con profundidad o ancho de 150 mm o más. Los moldes no deben producir especímenes con una longitud menor en 2 mm de la requerida en el numeral 5.3.2.

5.2.4 Varilla de compactación. Varilla de acero, recta, lisa y de sección circular, con un diámetro que cumpla los requisitos de la tabla 1. La longitud de la varilla de compactación debe ser de por lo menos 100 mm mayor que la profundidad del molde en el cual se está realizando la compactación, pero no mayor de 600 mm de longitud total (ver nota 1). La tolerancia en la longitud de la varilla de compactación es de 4 mm. La varilla debe tener el borde de compactación o ambos extremos redondeados, con una punta semiesférica del mismo diámetro de la varilla.

TABLA 1. Requisitos para el diámetro de la varilla de compactación

Diámetro del cilindro o ancho de la viga (mm)	Diámetro de la varilla (mm)
< 150	10 ± 2
≥ 150	16 ± 2

NOTA 1. Una varilla con longitud de 400 mm a 600 mm, cumple con los requisitos de esta y las siguientes normas: NTE INEN 1 578, ASTM C 138, ASTM C 173 y ASTM C 231.

(Continúa)

5.2.5 Vibradores. Se pueden utilizar vibradores internos, con una frecuencia de por lo menos 9 000 vibraciones por minuto (150 Hz) mientras el vibrador está operando en el hormigón. El diámetro de un vibrador redondo no debe ser mayor que un cuarto del diámetro del molde cilíndrico o un cuarto del ancho del molde de la viga. Vibradores de otras formas deben tener el perímetro equivalente a la circunferencia de un vibrador redondo apropiado. La longitud total del mango del vibrador y el elemento vibrante debe exceder la profundidad de la sección que se está vibrando en al menos 75 mm. La frecuencia del vibrador debe ser verificada periódicamente con un tacómetro con caña vibratoria u otro dispositivo adecuado (ver nota 2).

5.2.6 Mazo. Se debe utilizar un mazo con cabeza de caucho o cuero no tratado, con una masa de $0,6 \text{ kg} \pm 0,2 \text{ kg}$.

5.2.7 Herramientas de colocación. Deben ser de un tamaño suficientemente grande para que cada cantidad de hormigón obtenida del recipiente en el que se tomó la muestra, sea representativa y lo suficientemente pequeña para que el hormigón no se derrame durante la colocación en el molde. Para la colocación del hormigón en el molde para cilindros la herramienta aceptable es un cucharón. Para la colocación del hormigón en el molde para vigas, se permite el uso de una pala o de un cucharón.

5.2.8 Herramientas para el terminado. Deben ser una llana o una paleta.

5.2.9 Equipo para medir asentamiento. Debe cumplir con los requisitos de la NTE INEN 1 578.

5.2.10 Recipiente para toma de muestras. El recipiente debe ser una bandeja de metal de lámina gruesa, una carretilla o un tablero plano, limpio y no absorbente, de capacidad suficiente para permitir una fácil remezcla de toda la muestra con una pala o una paleta.

5.2.11 Equipo para medir el contenido de aire. Debe cumplir con los requisitos de las normas ASTM C 173 o ASTM C 231.

5.2.12 Equipo para la medición de la temperatura. Debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 1 064.

5.3 Requisitos para el ensayo

5.3.1 Cilindros. Los especímenes para resistencia a compresión o a tracción diametral deben ser cilindros y el hormigón debe fraguar en posición vertical. El número y tamaño de los cilindros moldeados deben ser los indicados en las especificaciones de la obra o en la NTE INEN 1855-1 o NTE INEN 1855-2. Adicionalmente, la longitud debe ser el doble del diámetro y el diámetro del cilindro debe ser por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del árido grueso. Cuando el tamaño máximo nominal del árido grueso supera los 50 mm, la muestra de hormigón debe ser tratada por tamizado húmedo a través del tamiz de 50 mm, como se describe en la NTE INEN 1 763. Para ensayos de aceptación de la resistencia a compresión especificada, los cilindros deben ser de 150 mm x 300 mm o de 100 mm x 200 mm.

5.3.2 Vigas. Los especímenes para resistencia a flexión deben ser vigas y el hormigón debe ser moldeado y fraguar en posición horizontal. El número de vigas moldeadas debe ser el indicado en las especificaciones de la obra o en la NTE INEN 1855-1 o NTE INEN 1855-2. La longitud debe ser por lo menos 50 mm mayor que tres veces la altura, respecto de cómo va a ser ensayada. La relación entre ancho y altura, respecto de cómo se moldea, no debe exceder de 1,5. La viga normalizada debe tener una sección transversal de 150 mm x 150 mm y debe ser utilizada para hormigón con árido grueso de hasta 50 mm de tamaño máximo nominal. Cuando el tamaño máximo nominal del árido grueso excede de 50 mm, la dimensión más pequeña de la sección transversal de la viga debe ser al menos tres veces el tamaño máximo nominal del árido grueso. A menos que las especificaciones del proyecto lo requieran, las vigas elaboradas en campo no deben tener el ancho o la altura menor que 150 mm.

NOTA 2. Para información del tamaño y la frecuencia de varios vibradores y el método de verificación periódica de la frecuencia, ver el ACI 309R.

(Continúa)

5.3.3 *Técnicos de campo.* Los ensayos de hormigón requeridos para determinar el cumplimiento de esta norma deben ser realizados por un Técnico en Ensayos de Campo del Hormigón, ACI - Grado I o con título certificado por una institución superior o equivalente. Los programas para certificación de personal para técnicos con certificación equivalente a la del ACI, deben incluir tanto exámenes escritos como prácticos, como se indica en el ACI CP-1.

5.4 Muestreo del hormigón

5.4.1 Las muestras utilizadas para elaborar especímenes de ensayo bajo esta norma, deben ser obtenidas de acuerdo con la NTE INEN 1 763, a menos que haya sido aprobado o especificado un procedimiento alternativo.

5.4.2 Registrar la identificación de la muestra con respecto a la ubicación en la que se coloca el hormigón que representa, la fecha y hora de moldeo.

5.5 Asentamiento, contenido de aire y temperatura (ver nota 3)

5.5.1 *Asentamiento.* Medir y registrar el asentamiento de cada amasada de hormigón, del cual se elaboran los especímenes, inmediatamente después de remezclar en el recipiente de muestreo, de acuerdo con la NTE INEN 1 578.

5.5.2 *Contenido de aire.* Determinar y registrar el contenido de aire de acuerdo con la norma ASTM C 173 o la norma ASTM C 231. El hormigón utilizado para determinar el contenido de aire no debe ser empleado para elaborar los especímenes de ensayo.

5.5.3 *Temperatura.* Determinar y registrar la temperatura de acuerdo con la norma ASTM C 1 064.

5.6 Procedimiento para el moldeo de especímenes

5.6.1 *Lugar para el muestreo.* Moldear los especímenes lo más rápido posible, sobre una superficie rígida y nivelada, libre de vibraciones y otras perturbaciones, en un lugar tan cercano como sea posible al lugar donde van a ser almacenados.

5.6.2 *Moldeo de cilindros.* Seleccionar la varilla de compactación adecuada según el numeral 5.2.4 y la tabla 1 o el vibrador apropiado según el numeral 5.2.5. De la tabla 2 determinar el método de compactación, a menos que otro método esté especificado. Si el método de compactación es por varillado, de la tabla 3 determinar los requisitos para el moldeo. Si el método de compactación es por vibración, de la tabla 4, determinar los requisitos para el moldeo. Seleccionar un cucharón del tamaño descrito en el numeral 5.2.7. Mientras se coloca el hormigón en el molde, mover el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución del hormigón con la mínima segregación. Cada capa de hormigón debe ser compactada según se requiera. Al colocar la última capa, adicionar una cantidad de hormigón para asegurar que, después de la compactación, el molde quede lleno.

5.6.3 *Moldeo de vigas.* Seleccionar la varilla de compactación adecuada según el numeral 5.2.4 y la tabla 1 o el vibrador apropiado según el numeral 5.2.5. De la tabla 2 determinar el método de compactación, a menos que otro método esté especificado. Si el método de compactación es por varillado, de la tabla 3 determinar los requisitos para el moldeo. Si el método de compactación es por vibración, de la tabla 4, determinar los requisitos para el moldeo. Determinar el número de golpes con la varilla por cada capa, uno por cada 14 cm² del área superficial de la viga. Seleccionar la herramienta de colocación según lo descrito en el numeral 5.2.7. Cuando se utilice el cucharón o la pala, colocar el hormigón en el molde hasta la altura requerida para cada capa, colocar el hormigón de tal forma que esté uniformemente distribuido en cada capa con la mínima segregación. Cada capa debe ser compactada según se requiera. Al colocar la última capa, adicionar una cantidad de hormigón para asegurar que, después de la compactación, el molde quede lleno.

NOTA 3. Algunas especificaciones pueden requerir la determinación de la masa unitaria del hormigón. En algunos proyectos se puede requerir el volumen de hormigón producido por cada amasada. También puede ser deseable información adicional sobre la medición del contenido de aire. Para la medición de la masa unitaria, rendimiento y contenido de aire por el método gravimétrico del hormigón fresco, se utilizan los procedimientos descritos en la norma ASTM C 138.

(Continúa)

TABLA 2. Requisitos para determinar el método de compactación

Asentamiento (mm)	Método de compactación
≥ 25	Varillado o vibración
< 25	Vibración

TABLA 3. Requisitos para el moldeo mediante varillado

Tipo de espécimen y tamaño	Número de capas de aproximadamente igual altura	Número de golpes con la varilla por capa
Cilindros: Diámetro (mm)		
100	2	25
150	3	25
225	4	50
Vigas: Ancho (mm) De 150 a 200 > 200	2 3 o más capas de igual altura, cada una no debe exceder de 150 mm	Ver numeral 5.6.3 Ver numeral 5.6.3

TABLA 4. Requisitos para el moldeo mediante vibración

Tipo de espécimen y tamaño	Número de capas	Número de inserciones del vibrador por capa	Altura aproximada por capa (mm)
Cilindros: Diámetro (mm)			
100	2	1	La mitad de la altura del espécimen
150	2	2	
225	2	4	
Vigas: Ancho (mm) De 150 a 200 > 200	1 2 o más	Ver numeral 5.6.4.2 Ver numeral 5.6.4.2	La altura del espécimen 200, lo más aproximado posible

5.6.4 Compactación. Los métodos de compactación especificados en esta norma son varillado o vibración interna.

5.6.4.1 Varillado. Colocar el hormigón en el molde, en el número de capas requeridas de aproximadamente igual volumen. Compactar cada capa uniformemente sobre la sección transversal con la punta redondeada de la varilla, con el número de golpes requerido. Compactar la capa del fondo, penetrando la varilla en toda su profundidad, en la compactación de esta capa tener cuidado de no dañar el fondo del molde. Para cada capa superior, permitir que la varilla penetre toda la capa que está siendo compactada e ingrese a la capa inferior aproximadamente 25 mm. Luego de que cada capa ha sido compactada, golpear en el exterior del molde de 10 a 15 veces con el mazo.

(Continúa)

Estos golpes tienen como único propósito cerrar cualquier agujero dejado por la varilla y eliminar cualquier burbuja grande de aire que hubiere sido atrapada. Para los moldes cilíndricos que sean susceptibles de daño si se golpean con el mazo, utilizar la mano abierta para golpear ligeramente. Después de golpear, igualar cada capa de hormigón a lo largo de los lados y bordes del molde de viga con una paleta u otra herramienta adecuada. Los moldes que no se han llenado, deben ser completados con hormigón representativo durante la compactación de la capa superior. En los moldes que tengan exceso de hormigón, este debe ser retirado.

5.6.4.2 Vibración. Mantener un tiempo de vibración uniforme para cada clase particular de hormigón, vibrador y tipo de molde involucrado. El tiempo de vibración requerido, depende de la trabajabilidad del hormigón y de la efectividad del vibrador, generalmente la vibración aplicada es suficiente cuando la superficie del hormigón se vuelve relativamente lisa y las burbujas grandes de aire dejan de aflorar en la superficie. Continuar vibrando solamente el tiempo suficiente para lograr una compactación adecuada del hormigón (ver nota 4). Llenar los moldes y vibrar en el número de capas requeridas de aproximadamente igual volumen. Colocar todo el hormigón para cada capa en el molde antes de empezar la vibración de esta capa. En la compactación del espécimen, insertar el vibrador lentamente y no permitir que este se apoye en el fondo o en los lados del molde, retirar el vibrador lentamente para evitar que grandes burbujas de aire queden dentro del espécimen. Al colocar la última capa, evitar el sobrellenado en más de 6 mm.

a) *Cilindros.* El número de inserciones del vibrador por capa está indicado en la tabla 4. Cuando se requiere más de una inserción por capa, distribuir de manera uniforme las inserciones dentro de cada capa. Permitir que el vibrador penetre a través de la capa a ser vibrada y en la capa inferior aproximadamente 25 mm. Después de que cada capa ha sido vibrada, golpear el exterior del molde por lo menos 10 veces con el mazo, para cerrar cualquier agujero remanente y liberar el aire atrapado. Utilizar la mano abierta para golpear moldes de cartón o metálicos de un solo uso, que son susceptibles de daño si se golpean con el mazo.

b) *Vigas.* Insertar el vibrador a intervalos que no excedan de 150 mm a lo largo de la línea central de la dimensión longitudinal del espécimen. Para especímenes más anchos que 150 mm, alternar las inserciones a lo largo de dos líneas. Permitir que el eje del vibrador penetre en la capa inferior, aproximadamente 25 mm. Después de que cada capa ha sido vibrada, golpear el exterior del molde por lo menos 10 veces con el mazo. Estos golpes tienen como único propósito cerrar cualquier agujero dejado por el vibrado y eliminar las burbujas de aire atrapado.

5.6.5 Terminado. Realizar todo el terminado con la mínima manipulación necesaria para producir una superficie plana, que esté nivelada con el borde superior del molde y que no tenga depresiones o proyecciones mayores de 3,3 mm.

5.6.5.1 Cilindros. Luego de la compactación, igualar y terminar la superficie superior con la varilla compactadora cuando la consistencia del hormigón lo permita o con una llana o paleta. Si se desea, colocar sobre la superficie del hormigón fresco una capa delgada de una pasta rígida de cemento hidráulico, permitiéndole que fragüe y cure con el espécimen, ver la sección de materiales para refrentado de la norma ASTM C 617.

5.6.5.2 Vigas. Luego de la compactación del hormigón, utilizar una llana o paleta para igualar la superficie superior con la tolerancia necesaria para producir una superficie plana y uniforme.

5.6.6 Identificación. Marcar los especímenes para su identificación y del hormigón que representan. Utilizar un método que no altere la superficie del hormigón, no se debe marcar en los elementos removibles del molde. Luego de retirar el molde, marcar los especímenes de ensayo para mantener su identificación.

5.7 Curado

5.7.1 Curado normalizado. Es el método de curado utilizado cuando los especímenes son elaborados y curados para los propósitos indicados en el numeral 2.2.

NOTA 4. Para un asentamiento mayor a 75 mm, generalmente no debe requerirse más de 5 segundos de vibración en cada inserción para una adecuada compactación del hormigón. Puede requerirse tiempos más largos para un asentamiento menor, pero el tiempo de vibración raramente excede de 10 segundos por inserción.

(Continúa)

5.7.1.1 Almacenamiento. Si los especímenes no pueden ser moldeados en el lugar donde recibirán el curado inicial, inmediatamente luego del terminado, mover los especímenes al lugar del curado inicial para su almacenamiento. La superficie sobre la que se almacenarán los especímenes debe estar nivelada dentro de 20 mm por metro. Si se mueven los cilindros elaborados en moldes de un solo uso, levantar y sostener los cilindros de la parte baja del molde con una paleta grande o un dispositivo similar. Si se daña la superficie durante el movimiento hacia el almacenamiento inicial, inmediatamente se debe dar un nuevo terminado.

5.7.1.2 Curado inicial. Inmediatamente después del moldeo y terminado, el espécimen debe ser almacenado por un período de hasta 48 horas a una temperatura entre 16 °C y 27 °C, en un ambiente que prevenga la pérdida de humedad de los especímenes. Para mezclas de hormigón con una resistencia especificada de 40 MPa o mayor, la temperatura de curado inicial debe estar entre 20 °C y 26 °C. Se permite utilizar varios procedimientos a paces de mantener las condiciones de humedad y temperatura especificadas durante el periodo de curado inicial, se debe utilizar un procedimiento apropiado o una combinación de procedimientos (ver nota 5). Proteger todos los especímenes de los rayos directos del sol y de cualquier radiación calórica, si se utiliza. La temperatura de almacenamiento debe ser controlada utilizando dispositivos de calefacción y enfriamiento, según sea necesario. Registrar la temperatura utilizando un termómetro de máximas y mínimas. Si se utilizan moldes de cartón, proteger las superficies exteriores de los moldes de su contacto con paños húmedos o cualquier fuente de agua.

5.7.1.3 Curado final:

a) *Cilindros.* Una vez concluido el curado inicial y dentro de 30 minutos después de remover los especímenes de los moldes, curarlos a una temperatura de 23 °C ± 2 °C, manteniendo todo el tiempo sus superficies con agua libre, utilizando tanques de almacenamiento o cámaras de curado, que cumplan con los requisitos de la NTE INEN 2 528, excepto cuando se los refrenta con mortero de azufre inmediatamente antes del ensayo. Cuando se refrenta con mortero de azufre, se deben secar las superficies superior e inferior del cilindro para prevenir la formación de paquetes de vapor o espuma mayores de 6 mm, debajo o dentro del refrentado, como se describe en la norma ASTM C 617. Para un periodo que no exceda de 3 horas inmediatamente antes del ensayo, no se requieren temperaturas de curado normalizado, a condición de que se mantenga en los cilindros la humedad libre y la temperatura ambiente esté entre 20 °C y 30 °C.

b) *Vigas.* Deben ser curadas de la misma forma que los cilindros (ver el literal a, del numeral 5.7.1.3) excepto que deben ser almacenadas en agua saturada con cal, a una temperatura de 23 °C ± 2 °C, por lo menos 20 horas antes de su ensayo. Debe prevenirse el secado de las superficies de la viga, desde la remoción del almacenamiento en agua, hasta el ensayo (ver nota 6).

5.7.2 Curado de campo. Es el método de curado utilizado para los especímenes elaborados y curados para los propósitos indicados en el numeral 2.4.

NOTA 5. Se puede crear un ambiente con humedad satisfactoria durante el periodo de curado inicial de los especímenes, mediante uno o más de los siguientes procedimientos: 1) sumergir inmediatamente los especímenes provistos con una tapa plástica, en agua saturada con cal, 2) almacenarlos en cajas de madera o estructuras apropiadamente construidas, 3) colocarlos en pozos de arena húmeda, 4) cubrirlos con tapas plásticas removibles, 5) colocarlos dentro de fundas plásticas o 6) cubrirlos con planchas plásticas o placas no absorbentes si se toman las precauciones para evitar el secado cuando se utiliza yute húmedo dentro del confinamiento, pero evitar que el yute esté en contacto con las superficies de hormigón. Se puede controlar una temperatura ambiente satisfactoria durante el curado inicial de los especímenes, mediante uno o más de los siguientes procedimientos: 1) utilizar ventilación, 2) utilizar hielo, 3) utilizar dispositivos de control de calentamiento o enfriamiento controlados por un termostato o 4) utilización de métodos de calefacción como estufas o bombillas. Se puede utilizar otros métodos adecuados, con tal que cumplan con los requisitos que limitan la temperatura de almacenamiento de los especímenes y la pérdida de humedad. Para mezclas de hormigón con resistencia especificada de 40 MPa o mayor, el calor generado en edades tempranas puede elevar la temperatura sobre los límites de almacenamiento requeridos. Un método fácil para mantener la temperatura requerida durante el almacenamiento puede ser la inmersión en agua saturada con cal con control de temperatura. Cuando los especímenes van a ser sumergidos en agua saturada con cal, no se deben utilizar especímenes en moldes de cartón u otros moldes que se expanden cuando se sumergen en agua. Los resultados de ensayos de resistencia a edades tempranas pueden ser menores cuando son almacenados a 16 °C y más altos cuando se los almacena a 27 °C. Para edades mayores, los resultados de los ensayos pueden ser menores para especímenes almacenados en temperaturas iniciales altas.

NOTA 6. Cantidades relativamente pequeñas de secado superficial, en los especímenes para ensayos a flexión, pueden inducir esfuerzos de tensión en las fibras extremas, que pueden producir una reducción importante de la resistencia a flexión.

(Continúa)

5.7.2.1 Cilindros. Almacenar los cilindros en o sobre la estructura, tan cerca como sea posible del sitio en que se colocó el hormigón al que representan. Proteger todas las superficies de los cilindros, de la forma más parecida posible a la manera como está protegida la estructura. Mantener a los cilindros con la misma temperatura y humedad ambiente de la estructura de la obra. Ensayar los especímenes en las condiciones de humedad resultantes del tratamiento de curado especificado. Para cumplir estas condiciones, los especímenes elaborados para determinar el tiempo en el que una estructura puede ser puesta en servicio deben retirarse del molde al mismo tiempo que se retiren los encofrados en la obra.

5.7.2.2 Vigas. Curar las vigas de la misma manera que el hormigón de la estructura, tanto como sea posible. Luego de $48 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ después del moldeo, trasladar los especímenes al lugar de almacenamiento y retirarlos de los moldes. Almacenar los especímenes representativos de los pavimentos o losas sobre el suelo, colocándolos en el suelo en la misma posición como fueron moldeados, con la cara superior hacia arriba. Cubrir los lados y bordes laterales del espécimen con tierra o arena que debe permanecer húmeda, dejando las superficies superiores expuestas al tratamiento de curado especificado. Almacenar los especímenes que representan la estructura de hormigón lo más cercano posible al sitio de la estructura, cuyo hormigón representan y mantener las mismas condiciones de temperatura y humedad ambiente que en la estructura. Al final del período de curado, dejar los especímenes en el lugar expuestos a la intemperie de la misma manera que la estructura. Retirar todos los especímenes del almacenamiento en campo y almacenarlos en agua saturada con cal a $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ por $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ inmediatamente antes del ensayo, para asegurar condiciones uniformes de humedad entre especímenes. Observar las precauciones indicadas en el literal a, del numeral 5.7.1.3 para protegerlos contra el secado entre el tiempo de remoción del curado y el ensayo.

5.7.2.3 Curado de hormigón estructural liviano. Curar los cilindros de hormigón estructural liviano de acuerdo con la norma ASTM C 330.

5.8 Transporte de los especímenes al laboratorio. Antes del transporte, curar y proteger los especímenes como se indica en el numeral 5.7. Los especímenes no deben ser transportados dentro de las primeras 8 horas después del fraguado final (ver nota 7). Durante el transporte, proteger los especímenes con un material de amortiguación adecuado para prevenir daños por golpes. Durante el clima frío, proteger los especímenes de la congelación con un material aislante adecuado. Prevenir la pérdida de humedad durante el transporte, envolviéndolos en plástico, mantas húmedas, rodeándolos de arena húmeda o en moldes impermeables con tapas herméticas. El tiempo de transporte no debe exceder de 4 horas.

5.9 Informe. Remitir la siguiente información al laboratorio que va a ensayar los especímenes:

- a) Identificación o código de identificación de cada espécimen,
- b) Localización del hormigón representado por las muestras,
- c) Fecha, hora y nombre del laboratorista que elaboró los especímenes e Identificación del responsable de los procesos de, curado y transporte de los especímenes al laboratorio
- d) Asentamiento, contenido de aire y temperatura del hormigón, resultados de otros ensayos realizados en el hormigón fresco y cualquier desviación de los métodos de ensayo normalizados, y
- e) Método de curado. Para el método de curado normalizado reportar: el método de curado inicial con la temperatura máxima y mínima y el método de curado final. Para el método de curado de campo reportar: la ubicación de almacenamiento de los especímenes, la forma de protección de los elementos, la temperatura y humedad ambiente y el tiempo en que fueron removidos de los moldes.

NOTA 7. El tiempo de fraguado puede ser medido de acuerdo con la norma ASTM C 403.

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 694	<i>Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 578	<i>Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 763	<i>Hormigón de cemento hidráulico. Muestreo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 528	<i>Cámaras de curado, gabinetes húmedos, tanques para almacenamiento en agua y cuartos para elaborar mezclas, utilizados en ensayos de cemento hidráulico y hormigón. Requisitos.</i>
Norma ASTM C 138	<i>Método de ensayo para determinar la densidad (masa unitaria), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del hormigón.</i>
Norma ASTM C 173	<i>Método de ensayo para determinar el contenido de aire en el hormigón mezclado fresco, por el método volumétrico.</i>
Norma ASTM C 231	<i>Método de ensayo para determinar el contenido de aire en el hormigón mezclado fresco, por el método de presión.</i>
Norma ASTM C 330	<i>Especificaciones para áridos livianos para hormigón estructural.</i>
Norma ASTM C 403	<i>Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas de hormigón mediante resistencia a la penetración.</i>
Norma ASTM C 470	<i>Especificaciones para los moldes para la fabricación de cilindros para ensayo de hormigón verticales.</i>
Norma ASTM C 617	<i>Práctica para refrentar especímenes cilíndricos de hormigón.</i>
Norma ASTM C 1 064	<i>Método de ensayo para determinar la temperatura de mezclas frescas de hormigón de cemento hidráulico.</i>
ACI CP-1	<i>Técnico para ensayos de hormigón en campo. Grado I</i>
ACI 309R	<i>Guía para la compactación del hormigón.</i>

Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 31 – 09. *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the field.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2009.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: TÍTULO: HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. Código:
NTE INEN 1 576 ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES CO 02.10-328
PARA ENSAYO

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio: 2010-05-03	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo Oficialización con el Carácter de por Acuerdo Ministerial No. publicado en el Registro Oficial No. Fecha de iniciación del estudio:
--	--

Fechas de consulta pública: de _____ a _____

Subcomité Técnico: HORMIGONES, ÁRIDOS Y MORTEROS
Fecha de iniciación: 2010-05-12 Fecha de aprobación: 2010-06-03
Integrantes del Subcomité Técnico:

NOMBRES:

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

Ing. Guillermo Realpe (Presidente)

Ing. José Arce (Vicepresidente)
Ing. Jaime Salvador

Ing. Raúl Ávila

Ing. Hugo Egüez
Ing. Raúl Cabrera
Sr. Carlos Aulestia
Ing. Xavier Arce

Ing. Marlon Valarezo

Arq. Soledad Moreno
Ing. Carlos González
Ing. Víctor Buri
Ing. Douglas Alejandro
Ing. Verónica Miranda

Ing. Diana Sánchez

Ing. Stalin Serrano
Ing. Xavier Herrera
Dr. Juan José Recalde
Ing. Mireya Martínez
Ing. Rubén Vásquez
Ing. Víctor Luzuriaga
Ing. Patricio Torres
Ing. Luis Balarezo
Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL
ECUADOR
HORMIGONES HÉRCULES S. A.
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y
DEL HORMIGÓN. INECYC.
ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE
HORMIGÓN PREMEZCLADO DEL ECUADOR.
APRHOPEC.
HOLCIM ECUADOR S. A. (AGREGADOS)
HOLCIM ECUADOR S. A. (HORMIGONES)
LAFARGE CEMENTOS S. A.
CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE
GUAYAQUIL.
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE
LOJA
INTACO ECUADOR S. A.
INTACO ECUADOR S. A.
HORMIGONES HÉRCULES S. A.
MUNICIPIO DE GUAYAQUIL.
COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE
PICHINCHA / HORMIGONERA EQUINOCCIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
HORMIGONERA EQUINOCCIAL.
HORMIGONERA QUITO CIA. LTDA.
CAMINOSCA CIA. LTDA.
CAMINOSCA CIA. LTDA.
CEMENTO CHIMBORAZO C. A.
INDUSTRIAS GUAPÁN S. A.
DICOPLAN CIA. LTDA.
CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y
DEL HORMIGÓN. INECYC.

Otros trámites:

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2010-11-26

Oficializada como: Voluntaria
Registro Oficial No. 367 de 2011-01-20

Por Resolución No. 144-2010 de 2010-12-23

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección General: E-Mail: direccion@inen.gob.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail: certificacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail: verificacion@inen.gob.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: inencati@inen.gob.ec
Regional Guayas: E-Mail: inenguayas@inen.gob.ec
Regional Azuay: E-Mail: inencuenca@inen.gob.ec
Regional Chimborazo: E-Mail: inenriobamba@inen.gob.ec
URL: www.inen.gob.ec**



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 573:2010
Primera revisión

HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO.

Primera Edición

STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS.

First Edition

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales, áridos para hormigón, contenido de arcilla, ensayo .

CO 02.10-301
CDU: 691.32:620.173
CIU: 3699
ICS: 91.100.30

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO.	NTE INEN 1 573:2010 Primera revisión 2010-06
---	--	---

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.

2. ALCANCE

2.1 Este método de ensayo se aplica a especímenes cilíndricos tales como cilindros moldeados y núcleos perforados de hormigón de cemento hidráulico, que tengan una densidad mayor que 800 kg/m³.

2.2 Este método de ensayo se utiliza para determinar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico, preparados y curados de acuerdo con las normas ASTM C 31, ASTM C 192, ASTM C 617, ASTM C 1 231, ASTM C 42 y ASTM C 873, mientras no existan normas INEN.

2.3 Los resultados de este método de ensayo se utilizan como base para: control de calidad de la dosificación del hormigón, operaciones de mezclado y colocación; determinación del cumplimiento con las especificaciones, control para evaluación de la efectividad de aditivos y usos similares.

3. DISPOSICIONES GENERALES

3.1 Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de la determinación de la resistencia a la compresión con los procedimientos de este método de ensayo, puesto que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del hormigón elaborado con materiales dados. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y la forma del espécimen, dosificación, procedimientos de mezclado, métodos de muestreo, moldeado o fabricación y de la edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado

3.2 El texto de esta norma hace referencia a notas en pie de página, las cuales proveen material explicativo y no deben ser consideradas como requisitos de esta norma.

3.3 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

3.4 La persona que ensaye los cilindros para aceptación del hormigón, debe cumplir con los requisitos de técnico de laboratorio de hormigón de la norma ASTM C 1 077 y aprobar un examen que demuestre su desempeño, el cual es evaluado por un instituto superior o equivalente (ver nota 1).

3.5 **Advertencia.** Se debe proveer de los medios para detener los fragmentos de hormigón durante la rotura explosiva de especímenes. La tendencia a una rotura explosiva se incrementa con el aumento de la resistencia del hormigón y es más probable cuando la máquina de ensayo es relativamente flexible. Se recomiendan las precauciones de seguridad dadas en el Manual of Aggregate and Concrete Testing de la ASTM.

NOTA 1. Se puede cumplir con este requisito, con una certificación equivalente a la de Técnico de Resistencia de Hormigón del ACI.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales, áridos para hormigón, contenido de arcilla, ensayo.

4. MÉTODO DE ENSAYO

4.1 Resumen. Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos de hormigón de cemento hidráulico a una velocidad que se encuentra dentro de un rango definido hasta que ocurra la falla del espécimen. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal del espécimen.

4.2 Equipos

4.2.1 Máquina de ensayo. La máquina de ensayo debe tener suficiente capacidad y disponer de las velocidades de carga descritas en el numeral 4.4.5.

4.2.1.1 Se debe verificar la calibración de las máquinas de ensayo, de acuerdo con la norma ASTM E 4, excepto en la verificación de rangos de carga requeridos en numeral 4.2.3. La verificación debe realizarse:

- a) Por lo menos una vez al año, sin exceder los 13 meses,
- b) En la instalación inicial o inmediatamente después de un traslado,
- c) Inmediatamente después de efectuar reparaciones o ajustes que afecten la operación del sistema de aplicación de fuerza o los valores mostrados en el sistema de indicación de carga, excepto en los ajustes a cero que es compensado por la masa de los bloques de carga o probetas, o ambos, o
- d) Cada vez que exista una razón para sospechar de la precisión de las cargas indicadas.

4.2.1.2 Diseño. El diseño de la máquina debe incluir las siguientes características:

- a) La máquina debe ser operada con energía eléctrica y debe aplicar la carga continuamente, no de forma intermitente y sin producir impacto. Si esta solo tiene una velocidad de carga (cumpliendo los requisitos del numeral 4.4.5), debe estar provista con un medio suplementario para aplicar la carga a una velocidad que pueda ser verificada. Este medio suplementario de carga puede ser operado con energía eléctrica o manualmente.
- b) El espacio provisto para los especímenes de ensayo debe ser lo suficientemente grande para acomodar, en una posición que permita leer y operar, un equipo de calibración elástico que tenga suficiente capacidad para cubrir el rango de carga potencial de la máquina de ensayo y que cumpla con los requisitos de la norma ASTM E 74 (ver nota2).

4.2.1.3 Precisión. La precisión de la máquina de ensayo debe cumplir con las siguientes disposiciones:

- a) El porcentaje de error para las cargas dentro del rango de uso propuesto para la máquina de ensayo, no debe exceder de $\pm 1,0\%$ de la carga indicada.
- b) Se debe verificar la precisión de la máquina de ensayo aplicando cinco ensayos de carga en orden ascendente, en cuatro incrementos aproximadamente iguales. La diferencia entre dos ensayos de carga sucesivos cualquiera, no debe exceder de un tercio de la diferencia entre las cargas de ensayos máxima y mínima.
- c) La carga indicada por la máquina de ensayo y la carga aplicada determinada a partir de las lecturas del equipo de verificación deben ser registradas en cada punto del ensayo. Calcular el error, E, y el porcentaje de error, E_p , para cada punto de la siguiente manera:

$$E = A - B \quad (1)$$

$$E_p = 100 (A - B)/B$$

NOTA 2. Los tipos de equipo de calibración elásticos generalmente disponibles y más comúnmente utilizados para este propósito son los anillos circulares de calibración o las celdas de carga.

Donde:

A = carga indicada por la máquina que es verificada (kN), y
B = la carga aplicada determinada por el equipo de calibración (kN)

- d) El informe sobre la verificación de una máquina de ensayo debe establecer el rango de carga dentro del cual cumple con los requisitos de la norma, en lugar de informar una aceptación o un rechazo generales. En ningún caso se debe declarar el rango de carga incluyendo cargas por debajo del valor 100 veces más pequeño que la carga estimable en el mecanismo indicador de carga de la máquina de ensayo o cargas dentro de la porción del rango por debajo del 10% de la capacidad máxima del rango.
- e) En ningún caso debe ser declarado el rango de carga incluyendo cargas fuera del rango de las cargas aplicadas durante el ensayo de verificación.
- f) No se debe corregir la carga indicada por una máquina de ensayo ni por cálculos ni por el uso de un diagrama de calibración para obtener valores dentro de la variación admisible requerida.

4.2.2 La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga de acero con caras endurecidas (ver nota 3), uno de los cuales es un bloque esférico que se apoya sobre la superficie superior del espécimen y el otro es un bloque sólido sobre el cual se asienta el espécimen. Las caras de contacto de los bloques de carga deben tener una dimensión mínima de al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen a ser ensayado. Excepto para los círculos concéntricos descritos abajo, las caras de apoyo de los bloques con diámetro de 150 mm o mayor, no deben desviarse de la condición de plano por más de 0,02 mm a lo largo de los 150 mm o por más de 0,02 mm en el diámetro de cualquier bloque más pequeño y los bloques nuevos deben ser fabricados con la mitad de esta tolerancia. Cuando el diámetro de la cara del bloque de carga esférico excede el diámetro del espécimen por más de 13 mm, deben estar inscritos círculos concéntricos de no más de 0,8 mm de profundidad y no más de 1 mm de ancho, para facilitar un centrado adecuado.

4.2.2.1 Los bloques de carga inferior deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) El bloque de carga inferior está especificado con el objetivo de proveer una superficie que se la pueda maquinar fácilmente para realizar el mantenimiento de las condiciones de superficie especificadas (ver nota 4). Las superficies superior e inferior deben ser paralelas entre sí. Si la máquina de ensayo está diseñada de manera que la platina se mantenga fácilmente por sí sola en la condición especificada para la superficie, no se requiere un bloque inferior. Su dimensión horizontal mínima debe ser por lo menos 3% mayor que el diámetro del espécimen a ser ensayado. Los círculos concéntricos descritos en el numeral 4.2.2 son opcionales en el bloque inferior.
- b) El centrado final del espécimen debe ser realizado con respecto al bloque esférico superior. Cuando se utiliza el bloque de carga inferior para ayudar en el centrado, el centro de los círculos concéntricos, cuando existan, o el centro del bloque en sí mismo debe estar directamente debajo del centro de la cabeza esférica. Se deben tomar precauciones respecto a la platina de la máquina para asegurar tal posición.
- c) El bloque de carga inferior, cuando es nuevo, debe tener un espesor de al menos 25 mm y después de cualquier operación de maquinado, un espesor de al menos 22,5 mm.

4.2.2.2 El bloque de carga esférico debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) El diámetro máximo de la cara de contacto del bloque esférico de carga suspendido no debe exceder los valores de la tabla 1 (ver nota 5).

NOTA 3. Es conveniente que las caras de carga de los bloques utilizados para el ensayo de compresión del hormigón, posean una dureza Rockwell mayor o igual a HRC 55.

NOTA 4. El bloque puede ser asegurado a la platina de la máquina de ensayo.

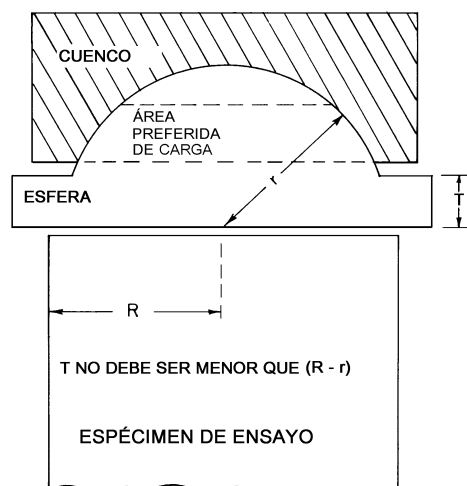
NOTA 5. Se permiten las caras de contacto cuadradas, si el diámetro del círculo inscrito más grande posible no excede los diámetros de la tabla 1.

(Continúa)

TABLA 1. Diámetro máximo de la cara de contacto del bloque de carga esférico

Diámetro de los especímenes de ensayo (mm)	Diámetro máximo de la cara de contacto (mm)
50	105
75	130
100	165
150	255
200	280

- b) El centro de la esfera debe coincidir con la superficie de la cara de contacto dentro de una tolerancia de $\pm 5\%$ del radio de la esfera. El diámetro de la esfera debe ser al menos el 75% del diámetro del espécimen a ser ensayado.
- c) La esfera y el cuenco deben ser diseñados de tal manera que el acero, en el área de contacto, no los deformen permanentemente cuando sea cargada a la capacidad de la máquina de ensayo (ver nota 6).
- d) Las superficies curvas del cuenco y de la parte esférica, se deben mantener limpias y lubricadas con un aceite en base de petróleo como el aceite convencional para motores y no con grasa de presión. No es conveniente que después del contacto con el espécimen y de la aplicación de una pequeña carga inicial, exista una inclinación en el bloque de carga esférico.
- e) Si el radio de la esfera es más pequeño que el radio del espécimen más grande a ser ensayado, la parte de la cara de contacto que se extiende más allá de la esfera debe tener un espesor no menor que la diferencia entre el radio de la esfera y el radio del espécimen. La dimensión mínima de la cara de contacto debe ser al menos tan grande como el diámetro de la esfera (ver figura 1).

FIGURA 1. Gráfico de un bloque de carga esférico típico

NOTA. Se deben tomar precauciones para mantener la esfera en el cuenco y para mantener la unidad entera en la máquina de ensayo

- f) La parte móvil del bloque de carga, se debe mantener ajustada al apoyo esférico, pero el diseño debe ser tal que la cara de contacto pueda rotar libremente e inclinarse al menos 4° en cualquier dirección.

NOTA 6. El área de contacto más favorable es en forma de aro (descrita como área de "carga" preferida) como se muestra en la figura 1.

(Continúa)

g) Si la parte del bloque de carga superior donde va la esfera está diseñada con dos piezas, compuesto de una parte esférica y una placa de carga, este debe estar provisto de un mecanismo que asegure que la parte esférica esté fija y centrada sobre la placa de carga.

4.2.3 Indicador de carga:

4.2.3.1 Si la carga aplicada por la máquina de compresión es registrada en un dial, el dial debe tener una escala graduada que pueda ser leída al menos, al 0,1% más cercano de la carga total de la escala (ver nota 7). El dial debe ser legible dentro del 1% de la carga indicada a cualquier nivel de carga dada, dentro del rango de carga. En ningún caso, el rango de cargas de un dial debe ser considerado para incluir cargas bajo un valor 100 veces el más pequeño cambio de carga que pueda ser leído en la escala. La escala debe estar provista con una línea de graduación que señale el cero y así numerada. El puntero del dial debe ser de suficiente longitud para alcanzar las marcas de graduación; el ancho del extremo del puntero no debe exceder la distancia libre entre las graduaciones más pequeñas. Cada dial debe estar equipado con un ajuste a cero que sea fácilmente accesible desde el exterior de la caja del dial y con un dispositivo adecuado que en todo momento, hasta que sea encerado, indique la carga máxima aplicada al espécimen con una precisión dentro del 1%.

4.2.3.2 Si la carga de la máquina de ensayo es indicada en forma digital, el visor numérico debe ser lo suficientemente grande para ser leído fácilmente. El incremento numérico debe ser igual o menor que el 0,10% de la carga total de la escala de un rango de cargas dado. En ningún caso, el rango de cargas verificado debe incluir cargas menores que el menor incremento numérico multiplicado por 100. La precisión de la carga indicada debe estar dentro del 1,0% de cualquier valor visualizado dentro del rango de carga verificado. Se debe tomar precauciones para hacer los ajustes que indiquen el verdadero cero a una carga cero. Debe estar provisto de un indicador de carga máxima que en todo momento, hasta que sea encerado, indique la carga máxima aplicada al espécimen dentro del 1% de la precisión del sistema.

4.3 Especímenes

4.3.1 Los especímenes no deben ser ensayados si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más del 2% (ver nota 8).

4.3.2 Antes de ser ensayados, ningún extremo de los especímenes de ensayo debe apartarse de la perpendicularidad a los ejes en más de $0,5^\circ$ (aproximadamente equivalente 1 mm en 100 mm). Los extremos de los especímenes para ensayo de compresión que no estén planos dentro de 0,050 mm deben ser cortados o limados para cumplir esta tolerancia o se deben refrentar con mortero de azufre de acuerdo con la norma ASTM C 617 o, cuando se permita, con la norma ASTM C 1 231. El diámetro utilizado para calcular el área de la sección transversal del espécimen de ensayo debe determinarse con una aproximación de 0,25 mm promediando dos diámetros medidos alrededor de la altura media del espécimen y que formen ángulos rectos entre sí.

4.3.3 Se permite reducir el número de cilindros individuales medidos para determinación del diámetro promedio, a uno por cada diez especímenes o tres especímenes por día, el que sea mayor, si se conoce que todos los cilindros han sido fabricados de un solo lote de moldes reusables o moldes para un solo uso, que siempre producen especímenes de diámetros promedio dentro de un rango de 0,5 mm. Cuando los diámetros promedio no caen dentro del rango de 0,5 mm o cuando los cilindros no están fabricados de un solo lote de moldes, el diámetro de cada cilindro ensayado debe ser medido y este valor utilizado en el cálculo de la resistencia a la compresión unitaria de ese espécimen.

NOTA 7. Se considera que lo más preciso que se puede leer es 0,5 mm a lo largo del arco descrito por el extremo de la aguja. También lo más cerca que se puede leer razonablemente, cuando el espaciamiento del mecanismo indicador de carga está entre 1 mm y 2 mm, es alrededor de la mitad del intervalo de la escala. Cuando el espaciamiento está entre 2 mm y 3 mm, un tercio del intervalo de carga puede ser leído con razonable certeza. Cuando el espaciamiento es 3 mm o más, un cuarto del intervalo de carga puede ser leído con razonable certeza.

NOTA 8. Esto puede ocurrir cuando los moldes que son para un solo uso se dañan o deforman durante el envío, cuando los moldes flexibles que son para un solo uso se deforman durante el moldeo o cuando un extractor de núcleos se desplaza o desvía durante la perforación.

(Continúa)

4.3.4 Si el usuario de los servicios de ensayo solicita la medición de la densidad de los especímenes de ensayo, se debe retirar cualquier humedad superficial mediante una toalla para luego determinar la masa de los especímenes antes del refrentado. Determinar la masa del espécimen utilizando una balanza que tenga una precisión dentro del 0,3% de la masa que está siendo medida. Medir la longitud del espécimen con una precisión de 1 mm en tres posiciones espaciadas regularmente alrededor de la circunferencia. Calcular la longitud promedio y registrarla con una precisión de 1 mm. Alternativamente, determinar la densidad del cilindro registrando la masa del cilindro en el aire y luego, sumergido en el agua a $23,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y calcular el volumen de acuerdo al numeral 4.5.3.1.

4.3.5 Cuando no se requiere la determinación de la densidad y la relación de la longitud al diámetro es menor que 1,8 o mayor que 2,2, medir la longitud del espécimen con una aproximación de 0,05 D.

4.4 Procedimiento

4.4.1 Se deben realizar los ensayos de compresión de especímenes curados en húmedo, tan pronto como sea posible luego de extraerlos del almacenamiento húmedo.

4.4.2 Los especímenes deben ser ensayados en condición húmeda. Se deben mantener húmedos utilizando cualquier método conveniente durante el período comprendido entre la remoción del almacenamiento húmedo y el ensayo.

4.4.3 Todos los especímenes de ensayo para una edad de ensayo dada, deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo admisibles, señaladas en la tabla 2:

TABLA 2. Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	$\pm 0,5\text{ h}$ o 2,1%
3 días	2 horas o 2,8%
7 días	6 horas o 3,6%
28 días	20 horas o 3,0%
90 días	2 días o 2,2%

4.4.4 Colocación del espécimen. Colocar el bloque de carga plano (inferior), con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o platina de la máquina de ensayo directamente bajo del bloque de carga esférico (superior). Limpiar las caras de contacto de los bloques superior e inferior y del espécimen de ensayo y colocar el espécimen de ensayo sobre el bloque de carga inferior. Cuidadosamente alinear el eje del espécimen con el centro de carga del bloque de carga esférico.

4.4.4.1 Verificación del ajuste a cero y asentamiento del bloque. Previo al ensayo del espécimen, verificar que el indicador de carga esté ajustado a cero. En los casos en los que el indicador no está adecuadamente colocado en cero, ajustar el indicador (ver nota 9). Puesto que se lleva el bloque de carga esférico hasta apoyar sobre el espécimen, girar con la mano y suavemente su parte móvil de tal modo de obtener un asentamiento uniforme.

4.4.5 Velocidad de carga. Aplicar la carga continuamente y sin impacto.

4.4.5.1 La carga debe ser aplicada a una velocidad de movimiento (medida desde la platina a la cruceta) correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de $0,25 \pm 0,05\text{ MPa/s}$ (ver nota 10). Se debe mantener la velocidad de movimiento señalada al menos durante la última mitad de la fase de la carga esperada.

NOTA 9. La técnica utilizada para verificar y ajustar el indicador de carga a cero puede variar dependiendo del fabricante de la máquina. Consultar el manual del propietario o al calibrador de la máquina de compresión para una técnica adecuada.

NOTA 10. Para una máquina de ensayo milimétrica o de desplazamiento controlado, será necesario un ensayo preliminar para establecer la velocidad de movimiento requerida para lograr la velocidad de esfuerzo especificada. La velocidad de movimiento requerida dependerá del tamaño del espécimen de ensayo, del módulo elástico del hormigón y de la rigidez de la máquina de ensayo.

(Continúa)

4.4.5.2 Se permite una velocidad de carga mayor durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga esperada. La velocidad de carga mayor debe ser aplicada de manera controlada de modo tal que el espécimen no esté sometido a una carga de impacto.

4.4.5.3 No se debe hacer ajustes en la velocidad de movimiento (desde la platina a la cruceta) cuando la carga última está siendo alcanzada y la velocidad de esfuerzo decrece debido a la fisuración en el espécimen.

4.4.6 Aplicar la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que está decreciendo constantemente y el espécimen muestre un patrón de fractura bien definido (Tipos 1 a 4 en la figura 2 del Anexo A). Para una máquina de ensayo equipada con un detector de rotura de espécimen, no se permite el apagado automático de la máquina de ensayo hasta que la carga haya decrecido hasta un valor menor al 95% de la carga máxima. Cuando se ensaya con cabezales con almohadillas no adherentes (neoprenos), puede ocurrir una fractura en la esquina, similar a los modelos tipo 5 o 6 mostrados en la figura 2 del Anexo A, antes que se haya alcanzado la capacidad última del espécimen, en estos casos se debe continuar comprimiendo el espécimen hasta que el laboratorista esté seguro de que se ha alcanzado la capacidad última. Registrar la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo y anotar el tipo de modelo de fractura de acuerdo a la figura 2 del Anexo A. Si el modelo de fractura no es uno de los modelos típicos mostrados en la figura 2 del Anexo A, dibujar y describir brevemente el modelo de fractura. Si la resistencia obtenida es menor de lo esperado, examinar el hormigón fracturado y anotar la presencia de grandes cavidades de aire, evidencia de segregación, comprobar si las fracturas pasan predominantemente alrededor o a través de las partículas de árido grueso y verificar si la preparación de los extremos del cilindro fue realizada de acuerdo con las normas ASTM C 617 o ASTM C 1 231.

4.5 Cálculos

4.5.1 Calcular la resistencia a la compresión del espécimen dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, para el promedio del área de la sección transversal, determinada como se describe en el numeral 4.3 y expresar el resultado con una aproximación a 0,1 MPa.

4.5.2 Si la relación de la longitud al diámetro del espécimen es de 1,75 o menos, corregir el resultado obtenido en el numeral 4.5.1 multiplicando por el factor de corrección apropiado mostrado en la tabla 3 (ver nota 11).

TABLA 3. Factor de corrección según la relación de longitud al diámetro del espécimen

L/D	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor:	0,98	0,96	0,93	0,87

4.5.2.1 Para determinar los factores de corrección para los valores L/D intermedios entre los valores dados en la tabla 3, se debe interpolar.

4.5.3 Cuando se ha solicitado, calcular la densidad del espécimen con una aproximación de 10 kg/m³, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad} = \frac{W}{V} \quad (2)$$

Donde:

W = Masa del espécimen en kg, y

V = Volumen del espécimen, calculado a partir del diámetro promedio y la longitud promedio, o determinado mediante la obtención de su masa al aire y sumergido, en m³.

NOTA 11. Los factores de corrección dependen de varias condiciones tales como condiciones de humedad, resistencia y módulo de elasticidad. En la tabla se dan los valores promedio. Estos factores de corrección se aplican al hormigón de baja densidad entre 1 600 kg/m³ y 1 920 kg/m³ y al hormigón de densidad normal. Estos son aplicables al hormigón seco o húmedo al momento de la carga y para resistencias nominales del hormigón en un rango de 14 MPa a 42 MPa. Para resistencias mayores a 42 MPa los factores de corrección pueden ser mayores que los valores mostrados en la tabla. Revisar Bartlett, F.M. y MacGregor, J.G., "Effect of Core Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strength," ACI Materials Journal, Vol 91, N° 4, Julio-Agosto, 1994, páginas: 339-348.

4.5.3.1 Cuando el volumen sea determinado mediante la obtención de su masa sumergida, calcular el volumen de la siguiente manera:

$$V = \frac{W - W_s}{\gamma_w} \quad (3)$$

Donde:

W_s = Masa aparente del espécimen sumergido, en kg, y

γ_w = Densidad del agua a 23 °C = 997,5 kg/m³.

4.6 Informe de resultados. Se debe elaborar un informe de resultados que contenga al menos lo siguiente:

- a) Laboratorio y fecha de ensayo,
- b) Número de identificación,
- c) Diámetro (y longitud, si se encuentra fuera del rango de 1,8 *D* a 2,2 *D*), en milímetros,
- d) Área de la sección transversal, en milímetros cuadrados,
- e) Carga máxima, en kilonewtons,
- f) Resistencia a la compresión calculada con una aproximación de 0,1 MPa,
- g) Tipo de fractura, si es diferente que el cono habitual (ver figura 2 del Anexo A),
- h) Defectos en cada espécimen o refrentado,
- i) Edad del espécimen, y,
- j) Densidad, cuando se lo determine, con una aproximación de 10 kg/m³.
- k) Observaciones: señalar responsabilidades sobre los procedimientos de muestreo, transporte y curado de especímenes, además de cualquier variación a los procedimientos señalados en esta norma.

4.7 Precisión y desviación

4.7.1 Precisión.

4.7.1.1 Precisión dentro del ensayo. La tabla 4 proporciona la precisión dentro del ensayo en ensayos de cilindros de 150 mm por 300 mm y de 100 mm por 200 mm moldeados de una muestra de hormigón correctamente mezclada en condiciones de laboratorio y en condiciones de campo (ver el numeral 4.7.1.2).

TABLA 4. Precisión dentro del ensayo

	Coeficiente de variación (ver nota 12)	Rango aceptable de variación de resistencia de cilindros individuales (ver nota 12)	
		2 cilindros	3 cilindros
Cilindros de 150 por 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4%	6,6%	7,8%
Condiciones de campo	2,9%	8,0%	9,5%
Cilindros de 100 por 200 mm			
Condiciones de laboratorio	3,2%	9,0%	10,6%

NOTA 12. Estos números representan respectivamente los límites (1s%) y (d2s%), como se describen en la norma ASTM C 670.

(Continúa)

4.7.1.2 El coeficiente de variación dentro del ensayo representa la variación esperada de la resistencia medida de los cilindros compañeros preparados con la misma muestra de hormigón y ensayados por un laboratorio a la misma edad. Los valores dados para el coeficiente de variación dentro del ensayo de cilindros de 150 mm por 300 mm son aplicables para resistencias a compresión en un rango de 15 MPa a 55 MPa y para los cilindros de 100 mm por 200 mm son aplicables para resistencias a compresión en un rango de 17 MPa a 32 MPa. Los coeficientes de variación dentro del ensayo para cilindros de 150 mm por 300 mm se obtienen de los datos del CCRL (Concrete Proficiency Sample Data), para condiciones de laboratorio y una compilación de 1 265 informes de ensayos de 225 laboratorios de ensayos comerciales en 1978 (ver nota 13). El coeficiente de variación dentro del ensayo para cilindros de 100 mm por 200 mm se obtienen de los datos del CCRL (Concrete Proficiency Sample Data), para condiciones de laboratorio (ver nota 14).

4.7.1.3 *Precisión multilaboratorio.* Se ha encontrado que el coeficiente de variación multilaboratorio para los resultados de ensayo de resistencia a la compresión en cilindros de 150 mm por 300 mm es de 5,0% (ver nota 12); por lo tanto, los resultados de los ensayos apropiadamente realizados por dos laboratorios en especímenes preparados de la misma muestra de hormigón, no deben diferir en más del 14% (ver nota 12) del promedio, (ver nota 15). El resultado de un ensayo de resistencia es el promedio de dos cilindros ensayados a la misma edad.

4.7.1.4 Los datos multilaboratorio fueron obtenidos de seis ensayos de resistencia separados, organizados a través de programas de todos contra todos (ver nota 14) donde los especímenes cilíndricos de 150 mm por 300 mm fueron preparados en una sola ubicación y ensayados por diferentes laboratorios. El rango de resistencia promedio de estos programas fue de 17,0 MPa a 90 MPa.

4.7.2 *Desviación.* Dado que no hay un material de referencia aceptado, no se hace ninguna declaración de desviación.

NOTA 13. Los datos de apoyo han sido archivados en las oficinas de ASTM Internacional y pueden obtenerse solicitando el Informe de Investigación RR: C09-1006.

NOTA 14. Los datos de apoyo han sido archivados en las oficinas de ASTM Internacional y pueden obtenerse solicitando el Informe de Investigación RR: C09-1027.

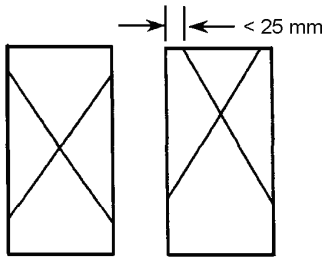
NOTA 15. La precisión multilaboratorio no incluye variaciones asociadas con diferentes laboratoristas que preparan especímenes de ensayos de muestras de hormigón divididas o independientes. Es posible que estas variaciones incrementen el coeficiente de variación multilaboratorio.

(Continúa)

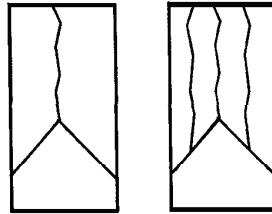
ANEXO A

(Información obligatoria)

FIGURA 2. Esquema de los modelos típicos de fractura



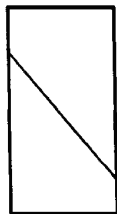
Tipo 1
Conos en ambos extremos razonablemente bien formados, fisuras a través de la cabecera menor a 25 mm



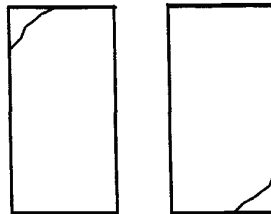
Tipo 2
Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabecera, cono no muy definido en el otro extremo.



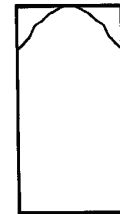
Tipo 3
Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.



Tipo 4
Fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes; golpear con un martillo para distinguir del Tipo 1



Tipo 5
Fracturas a los lados, en el extremo superior o en el fondo (ocurren comúnmente cuando se ensaya con neoprenos)



Tipo 6
Similar al Tipo 5, pero el extremo del cilindro está en punta

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma ASTM C 31	<i>Práctica para hacer y curar especímenes de ensayo de hormigón en el campo.</i>
Norma ASTM C 42	<i>Método de ensayo para obtener y ensayar núcleos calados y vigas aserradas de hormigón.</i>
Norma ASTM C 192	<i>Práctica para hacer y curar especímenes de ensayo de hormigón en el laboratorio.</i>
Norma ASTM C 617	<i>Práctica para refrentar especímenes cilíndricos de hormigón.</i>
Norma ASTM C 670	<i>Práctica para la preparación de informes de precisión y desviación para métodos de ensayo para materiales de construcción</i>
Norma ASTM C 873	<i>Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón tomados en la obra en moldes cilíndricos.</i>
Norma ASTM C 1077	<i>Práctica para laboratorios de ensayo de hormigón y áridos para hormigón para uso en la construcción y criterios para la evaluación de laboratorios.</i>
Norma ASTM C 1231	<i>Práctica para uso de cabezales no adherentes en la determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón endurecido.</i>
Norma ASTM E 4	<i>Prácticas para la verificación de la presión en máquinas de ensayo.</i>
Norma ASTM E 74	<i>Práctica para la calibración de los instrumentos que miden la presión para verificar el indicador de presión en las máquinas de ensayo.</i>

Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 39 – 05. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2005.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 1 573 Primera Revisión	TÍTULO: HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO	Código: CO 02.10-301
---	---	---------------------------------------

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 1990-06-26 Oficialización con el Carácter de Obligatoria - Emergente por Acuerdo Ministerial No. 414 de 1990-08-20 publicado en el Registro Oficial No. 524 de 1990-09-18 Fecha de iniciación del estudio: 2009-09-17
--	---

Fechas de consulta pública: de _____ a _____

Subcomité Técnico: HORMIGÓN, ÁRIDOS Y MORTEROS

Fecha de iniciación: 2009-09-24

Fecha de aprobación: 2009-10-01

Integrantes del Subcomité Técnico:

NOMBRES:

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

Ing. Guillermo Realpe (Presidente)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL
ECUADOR

Ing. José Arce (Vicepresidente)

HORMIGONES HÉRCULES S. A.
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y
DEL CONCRETO. INECYC.

Ing. Jaime Salvador

ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE
HORMIGÓN PREMEZCLADO DEL ECUADOR.
APRHOPEC.

Ing. Raúl Ávila

HOLCIM ECUADOR S. A. AGREGADOS
HOLCIM ECUADOR S. A. HORMIGONES
LAFARGE CEMENTOS S. A.
CÁMARA CONSTRUCCIÓN GUAYAQUIL.
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE
LOJA

Ing. Hugo Egüez

Ing. Raúl Cabrera

Sr. Carlos Aulestia

Ing. Xavier Arce

Ing. Marlon Valarezo

Arq. Soledad Moreno

INTACO ECUADOR S. A.

Ing. Carlos González

INTACO ECUADOR S. A.

Ing. Víctor Buri

HORMIGONES HÉRCULES S. A.

Ing. Douglas Alejandro

MUNICIPIO DE GUAYAQUIL.

Ing. Verónica Miranda

COLEGIO INGENIEROS CIVILES PICHINCHA /
HORMIGONES EQUINOCCIAL

Ing. Diana Sánchez

FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

Ing. Stalin Serrano

HORMIGONES EQUINOCCIAL.

Ing. Xavier Herrera

HORMIGONERA QUITO

Ing. Mireya Martínez

CAMINOSCA CIA. LTDA.

Ing. Rubén Vásquez

CEMENTO CHIMBORAZO C. A.

Ing. Víctor Luzuriaga

INDUSTRIAS GUAPÁN S. A.

Ing. Patricio Torres

DICOPLAN CIA. LTDA.

Ing. Luis Balarezo

CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO

Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)

INECYC.

Otros trámites: ♦⁵ La NTE INEN 1 573:1990 sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA-EMERGENTE a VOLUNTARIA**, según Acuerdo Ministerial No. 236 de 1998-01-08 publicado en el Registro Oficial No. 321 de 1998-05-20.

Esta NTE INEN 1 573:2010 (Primera Revisión), reemplaza a la NTE INEN 1573:1990

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2010-03-26

Oficializada como: **Voluntaria**
Registro Oficial No. 213 de 2010-06-14

Por Resolución No. 035-2010 de 2010-04-02

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección General: E-Mail: direccion@inen.gov.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail: certificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail: verificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: inencati@inen.gov.ec
Regional Guayas: E-Mail: inenguayas@inen.gov.ec
Regional Azuay: E-Mail: inencuenca@inen.gov.ec
Regional Chimborazo: E-Mail: inenriobamba@inen.gov.ec
URL: www.inen.gov.ec**



Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression¹

This standard is issued under the fixed designation C469; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

^{ε1} NOTE—Adjunct references were corrected editorially in April 2006.

1. Scope

1.1 This test method covers determination of (1) chord modulus of elasticity (Young's) and (2) Poisson's ratio of molded concrete cylinders and diamond-drilled concrete cores when under longitudinal compressive stress. Chord modulus of elasticity and Poisson's ratio are defined in Terminology E6.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

C31/C31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

C39/C39M Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

C42/C42M Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

C174/C174M Test Method for Measuring Thickness of Concrete Elements Using Drilled Concrete Cores

C192/C192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory

C617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems

E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

2.2 ASTM Adjuncts:

Compressometers (two drawings) and Extensometers (two drawings)³

3. Significance and Use

3.1 This test method provides a stress to strain ratio value and a ratio of lateral to longitudinal strain for hardened concrete at whatever age and curing conditions may be designated.

3.2 The modulus of elasticity and Poisson's ratio values, applicable within the customary working stress range (0 to 40 % of ultimate concrete strength), are used in sizing of reinforced and nonreinforced structural members, establishing the quantity of reinforcement, and computing stress for observed strains.

3.3 The modulus of elasticity values obtained will usually be less than moduli derived under rapid load application (dynamic or seismic rates, for example), and will usually be greater than values under slow load application or extended load duration, given other test conditions being the same.

4. Apparatus

4.1 *Testing Machine*—Use a testing machine capable of imposing a load at the rate and of the magnitude prescribed in 6.4. The machine shall conform to the requirements of Practices E4 (Constant-Rate-of-Traverse CRT-Type Testing Machines section). The spherical head and bearing blocks shall conform to the Apparatus Section of Test Method C39/C39M.

4.2 *Compressometer*³—For determining the modulus of elasticity use a bonded (Note 1) or unbonded sensing device that measures to the nearest 5 millionths the average deformation of two diametrically opposite gage lines, each parallel to the axis, and each centered about midheight of the specimen. The effective length of each gage line shall be not less than three times the maximum size of the aggregate in the concrete nor more than two thirds the height of the specimen; the

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing for Strength.

Current edition approved Aug. 10, 2002. Published October 2002. Originally approved in 1961. Last previous edition approved in 1994 as C469 – 94^{ε1}. DOI: 10.1520/C0469-02E01.

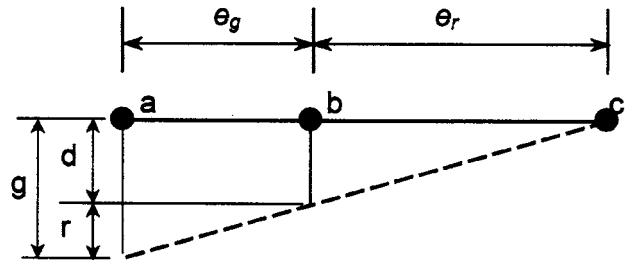
² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from ASTM International Headquarters. Order Adjunct No. ADJC0469.

preferred length of the gage line is one half the height of the specimen. Either use gage points embedded in or cemented to the specimen, and read deformation of the two lines independently; or use a compressometer (such as is shown in Fig. 1) consisting of two yokes, one of which (see B, Fig. 1) is rigidly attached to the specimen and the other (see C, Fig. 1) attached at two diametrically opposite points so that it is free to rotate. At one point on the circumference of the rotating yoke, midway between the two support points, use a pivot rod (see A, Fig. 1) to maintain a constant distance between the two yokes. At the opposite point on the circumference of the rotating yoke, the change in distance between the yokes (that is, the gage reading) is equal to the sum of the displacement due to specimen deformation and the displacement due to rotation of the yoke about the pivot rod (see Fig. 2).

4.2.1 Measure deformation by a dial gage used directly or with a lever multiplying system, by a wire strain gage, or by a linear variable differential transformer. If the distances of the pivot rod and the gage from the vertical plane passing through the support points of the rotating yoke are equal, the deformation of the specimen is equal to one-half the gage reading. If these distances are not equal, calculate the deformation as follows:

$$d = g e_r / (e_r + e_g) \quad (1)$$



d = displacement due to specimen deformation
 r = displacement due to rotation of the yoke about the pivot rod
 a = location of gage
 b = support point of the rotating yoke
 c = location of pivot rod
 g = gage reading

FIG. 2 Diagram of Displacements

where:

- d = total deformation of the specimen throughout the effective gage length, $\mu\text{in.}$ (μm),
- g = gage reading, $\mu\text{in.}$ (μm),
- e_r = the perpendicular distance, measured in inches (millimetres) to the nearest 0.01 in. (0.254 mm) from the pivot rod to the vertical plane passing through the two support points of the rotating yoke, and
- e_g = the perpendicular distance, measured in inches (millimetres) to the nearest 0.01 in. (0.254 mm) from the gage to the vertical plane passing through the two support points of the rotating yoke.

Procedures for calibrating strain-measuring devices are given in Practice E83.

NOTE 1—Although bonded strain gages are satisfactory on dry specimens, they may be difficult, if not impossible, to mount on specimens continually moist-cured until tested.

4.3 *Extensometer*³—If Poisson’s ratio is desired, the transverse strain shall be determined (1) by an unbonded extensometer capable of measuring to the nearest 25 $\mu\text{in.}$ (0.635 μm) the change in diameter at the midheight of the specimen, or (2) by two bonded strain gages (Note 1) mounted circumferentially at diametrically opposite points at the midheight of the specimen and capable of measuring circumferential strain to the nearest 5 millionths. A combined compressometer and extensometer (Fig. 3) is a convenient unbonded device. This apparatus shall contain a third yoke (consisting of two equal segments) located halfway between the two compressometer yokes and attached to the specimen at two diametrically opposite points. Midway between these points use a short pivot rod (A’, see Fig. 3), adjacent to the long pivot rod, to maintain a constant distance between the bottom and middle yokes. Hinge the middle yoke at the pivot point to permit rotation of the two segments of the yoke in the horizontal plane. At the opposite point on the circumference, connect the two segments through a dial gage or other sensing device capable of measuring transverse deformation to the nearest 50 $\mu\text{in.}$ (1.27 μm). If the distances of the hinge and the gage from the vertical plane passing through the support points of the middle yoke are equal, the transverse deformation of the specimen diameter is equal to one-half the

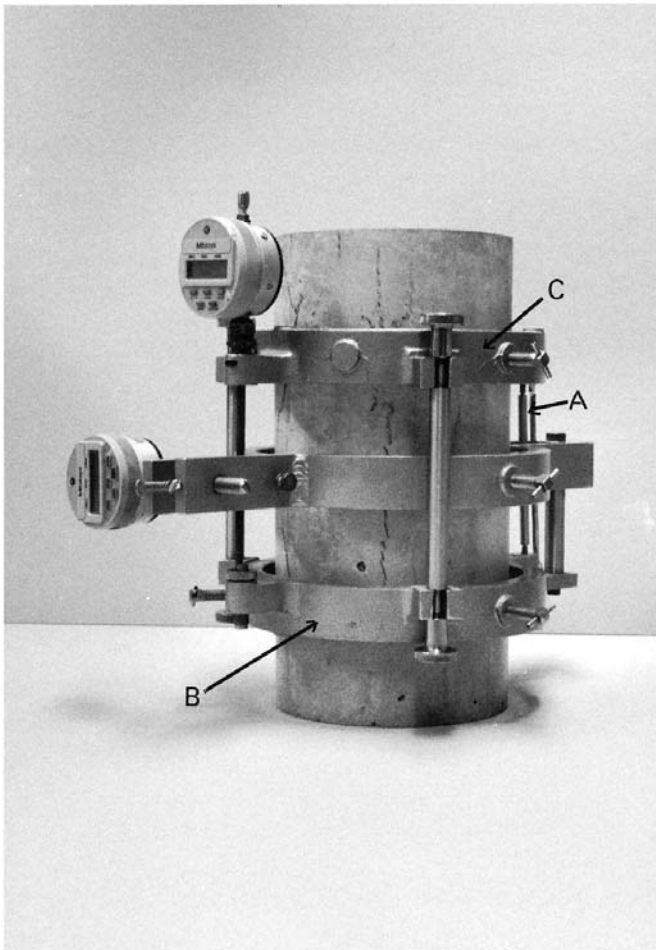


FIG. 1 Suitable Compressometer

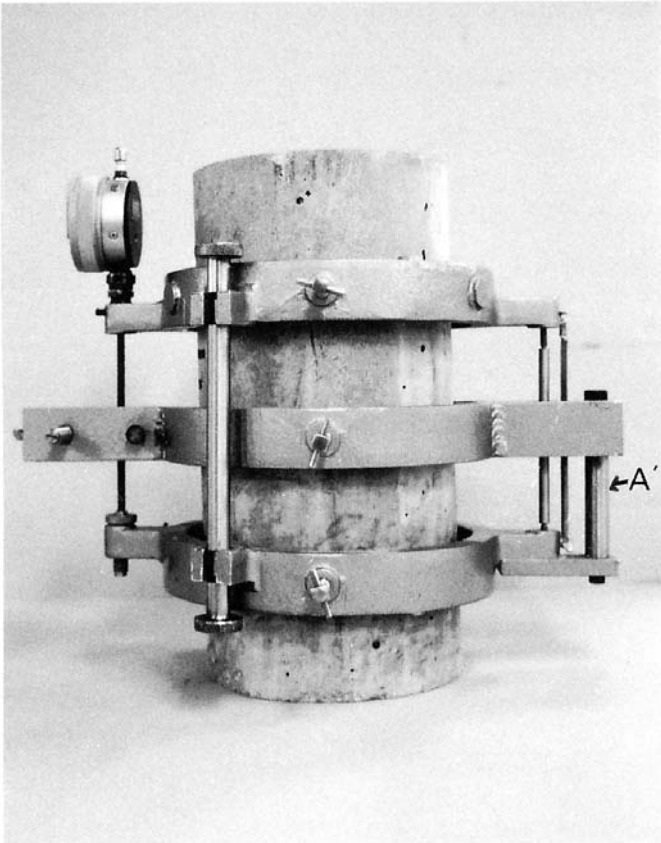


FIG. 3 Suitable Combined Compressometer-Extensometer

gauge reading. If these distances are not equal, calculate the transverse deformation of the specimen diameter in accordance with Eq 2.

$$d' = g'e'_h / (e'_h + e'_g) \quad (2)$$

where:

d' = transverse deformation of the specimen diameter, $\mu\text{in.}$ (μm),

g' = transverse gage reading, $\mu\text{in.}$ (μm),

e'_h = the perpendicular distance, measured in inches (millimeters) to the nearest 0.01 in. (0.254 mm) from the hinge to the vertical plane passing through the support points of the middle yoke, and

e'_g = the perpendicular distance, measured in inches (millimeters) to the nearest 0.01 in. (0.254 mm) from the gage to the vertical plane passing through the support points of the middle yoke.

4.4 *Balance or Scale*, accurate to 0.1 lb (0.045 kg) shall be used if necessary.

5. Test Specimens

5.1 *Molded Cylindrical Specimens*—Mold test cylinders in accordance with the requirements for compression test specimens in Practice C192/C192M, or in Practice C31/C31M. Subject specimens to the specified curing conditions and test at the age for which the elasticity information is desired. Test specimens within 1 h after removal from the curing or storage

room. Specimens removed from a moist room for test shall be kept moist by a wet cloth covering during the interval between removal and test.

5.2 *Drilled Core Specimens*—Cores shall comply with the requirements for drilling, and moisture conditioning applicable to compressive strength specimens in Test Method C42/C42M, except that only diamond-drilled cores having a length-to-diameter ratio greater than 1.50 shall be used. Requirements relative to storage and to ambient conditions immediately prior to test shall be the same as for molded cylindrical specimens.

5.3 The ends of the test specimens shall be made perpendicular to the axis ($\pm 0.5^\circ$) and plane (within 0.002 in.). If the specimen as cast does not meet the planeness requirements, planeness shall be accomplished by capping in accordance with Practice C617, or by lapping, or by grinding. It is not prohibited to repair aggregate popouts that occur at the ends of specimens, provided the total area of popouts does not exceed 10 % of the specimen area and the repairs are made before capping or grinding is completed (Note 2). Planeness will be considered within tolerance when a 0.002 in. (0.05 mm) feeler gage will not pass between the specimen surface and a straight edge held against the surface.

NOTE 2—Repairs may be made by epoxying the dislodged aggregate back in place or by filling the void with capping material and allowing adequate time for it to harden.

5.4 Measure the diameter of the test specimen by caliper to the nearest 0.01 in. (0.25 mm) by averaging two diameters measured at right angles to each other near the center of the length of the specimen. Use this average diameter to calculate the cross-sectional area. Measure and report the length of a molded specimen, including caps, to the nearest 0.1 in. (2.54 mm). Measure the length of a drilled specimen in accordance with Test Method C174/C174M; report the length, including caps, to the nearest 0.1 in. (2.54 mm).

6. Procedure

6.1 Maintain the ambient temperature and humidity as constant as possible throughout the test. Record any unusual fluctuation in temperature or humidity in the report.

6.2 Use companion specimens to determine the compressive strength in accordance with Test Method C39/C39M prior to the test for modulus of elasticity.

6.3 Place the specimen, with the strain-measuring equipment attached, on the lower platen or bearing block of the testing machine. Carefully align the axis of the specimen with the center of thrust of the spherically-seated upper bearing block. Note the reading on the strain indicators. As the spherically-seated block is brought slowly to bear upon the specimen, rotate the movable portion of the block gently by hand so that uniform seating is obtained.

6.4 Load the specimen at least twice. Do not record any data during the first loading. Base calculations on the average of the results of the subsequent loadings (Note 3).

NOTE 3—At least two subsequent loadings are recommended so that the repeatability of the test may be noted.

During the first loading, which is primarily for the seating of the gages, observe the performance of the gages (Note 4) and correct any unusual behavior prior to the second loading.

Obtain each set of readings as follows: Apply the load continuously and without shock. Set testing machines of the screw type so that the moving head travels at a rate of about 0.05 in. (1.25 mm)/min when the machine is running idle. In hydraulically operated machines, apply the load at a constant rate within the range 35 ± 5 psi (241 ± 34 kPa)/s. Record, without interruption of loading, the applied load and longitudinal strain at the point (1) when the longitudinal strain is 50 millionths and (2) when the applied load is equal to 40 % of the ultimate load (see 6.5). Longitudinal strain is defined as the total longitudinal deformation divided by the effective gage length. If Poisson's ratio is to be determined, record the transverse strain at the same points. If a stress-strain curve is to be determined, take readings at two or more intermediate points without interruption of loading; or use an instrument that makes a continuous record. Immediately upon reaching the maximum load, except on the final loading, reduce the load to zero at the same rate at which it was applied. If the observer fails to obtain a reading, complete the loading cycle and then repeat it. Record the extra cycle in the report.

NOTE 4—Where a dial gage is used to measure longitudinal deformation, it is convenient to set the gage before each loading so that the indicator will pass the zero point at a longitudinal strain of 50 millionths.

6.5 It is not prohibited to obtain the modulus of elasticity and strength on the same loading provided that the gages are expendable, removable, or adequately protected so that it is possible to comply with the requirement for continuous loading given in Test Method C39/C39M. In this case record several readings and determine the strain value at 40 % of the ultimate by interpolation.

6.6 If intermediate readings are taken, plot the results of each of the three tests with the longitudinal strain as the abscissa and the compressive stress as the ordinate. Calculate the compressive stress by dividing the quotient of the testing machine load by the cross-sectional area of the specimen determined in accordance with 5.4.

7. Calculation

7.1 Calculate the modulus of elasticity, to the nearest 50 000 psi (344.74 MPa) as follows:

$$E = (S_2 - S_1)/(\varepsilon_2 - 0.000050) \quad (3)$$

where:

- E = chord modulus of elasticity, psi,
- S_2 = stress corresponding to 40 % of ultimate load,
- S_1 = stress corresponding to a longitudinal strain, ε_1 , of 50 millionths, psi, and
- ε_2 = longitudinal strain produced by stress S_2 .

7.2 Calculate Poisson's ratio, to the nearest 0.01, as follows:

$$\mu = (\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1})/(\varepsilon_2 - 0.000050) \quad (4)$$

where:

- μ = Poisson's ratio,
- ε_{t2} = transverse strain at midheight of the specimen produced by stress S_2 , and
- ε_{t1} = transverse strain at midheight of the specimen produced by stress S_1 .

8. Report

8.1 Report the following information:

- 8.1.1 Specimen identification number,
- 8.1.2 Dimensions of specimen, in inches (or millimetres),
- 8.1.3 Curing and environmental histories of the specimen,
- 8.1.4 Age of the specimen,
- 8.1.5 Strength of the concrete, if determined,
- 8.1.6 Unit weight of the concrete, if determined,
- 8.1.7 Stress-strain curves, if plotted,
- 8.1.8 Chord modulus of elasticity, and
- 8.1.9 Poisson's ratio, if determined.

9. Precision and Bias

9.1 *Precision*—The single-operator-machine multibatch precision is ± 4.25 % (R1S %) max, as defined in Practice E177, over the range from 2.5 to 4×10^6 psi (17.3 to 27.6×10^9 Pa); therefore, the results of tests of duplicate cylinders from different batches should not depart more than 5 % from the average of the two.

9.2 *Bias*—This test method has no bias because the values determined can only be defined in terms of the test method.

10. Keywords

10.1 compression testing; concrete; modulus of elasticity; Poisson's ratio

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).