

ÍNDICE

Capítulo 1 Antecedentes

1.1 Comportamiento en tracción.....	1
1.1.1 Introducción	1
1.1.2 Comportamiento en tracción de los hormigones y las rocas	2
1.1.2.1 Niveles de Observación.....	2
1.1.2.2 Nivel Superior.....	2
1.1.2.3 Nivel Inferior.....	3
1.1.3 Medida de las propiedades en tracción.....	4
1.1.3.1 Ensayo de tracción directa	4
1.1.3.2 Ensayos de tracción indirecta.....	5
1.1.3.2.1 Ensayo de flexión	5
1.1.3.2.2 Ensayo de compresión diametral	6
1.1.3.3 Formas de evaluar las propiedades en tracción	7
1.2 Ensayo brasileño	7
1.2.1 Antecedentes Históricos.....	7
1.2.2 Descripción del Ensayo.....	8
1.2.3 Fundamento teórico del ensayo.....	9
1.2.3.1 Estado Tensional.....	9
1.2.3.2 Criterio de Rotura	9
1.2.4 Ventajas del Ensayo.....	10
1.2.5 Normativa.....	10
1.2.5.1 Consideraciones previas.....	10
1.2.5.2 Análisis comparativo.....	11
1.2.5.3 Comentarios	12
1.2.6 Comparación con otros ensayos de tracción	13
1.2.6.1 Valores experimentales.....	13
1.2.6.2 Fórmulas empíricas.....	14
1.2.6.3 Comparación de resultados.....	15
1.2.7 Variables que afectan al ensayo.....	15
1.2.7.1 Influencia del ancho de los apoyos.....	15
1.2.7.1.1 Análisis teórico.....	16
1.2.7.1.2 Resultados experimentales.....	17
1.2.7.1.3 Comentarios.....	18

1.2.7.2	Influencia del tipo de apoyo.....	18
1.2.7.3	Influencia de la forma de la probeta.....	18
1.2.7.3.1	Análisis teórico.....	18
1.2.7.3.2	Resultados experimentales.....	19
1.2.7.3.3	Comentarios.....	20
1.2.7.4	Influencia del tamaño.....	20
1.2.7.4.1	Resultados teóricos.....	21
	Modelo de Jenq y Shah.....	21
	Modelo de Fisura Cohesiva.....	22
	Modelo de Bazant.....	23
1.2.7.4.2	Resultados Experimentales.....	23
1.2.7.4.3	Comentarios.....	23
1.2.8	Modos de rotura.....	24
1.2.8.1	Rotura con cuña de deslizamiento.....	24
1.2.8.2	Rotura con triple fisura.....	25
1.2.8.3	Comentarios.....	26
1.2.9	Otras aplicaciones del ensayo brasileño.....	26
1.2.9.1	Medida de la tenacidad de fractura.....	26
1.2.9.2	Medida de la resistencia a la tracción dinámica.....	27
1.2.9.3	Medida de índices de tenacidad.....	27

Capítulo 2: Análisis Teórico

2.1	Introducción.....	29
2.2	Análisis clásico.....	29
2.2.1	Modelo Elástico Lineal.....	30
2.2.1.1	Estado tensional para el caso de carga puntual.....	30
2.2.1.2	Estado tensional para el caso de carga repartida: efecto del ancho de reparto.....	30
2.2.1.3	Variación de la resistencia a la tracción indirecta con el ancho de reparto.....	33
2.2.1.4	Relación entre la resistencia a la tracción indirecta de la probeta cilíndrica y prismática.....	34
2.2.1.5	Relación entre la resistencia a la tracción indirecta del ensayo brasileño y el módulo de rotura del ensayo de flexión.....	34
2.3	Análisis mediante mecánica de fractura.....	36
2.3.1	Modelos de fractura elástica lineal.....	36
2.3.1.1	Descripción.....	36
2.3.1.2	Cálculo de K_{Ic}	37
2.3.1.3	Expresiones de K_{I} para el ensayo brasileño.....	38
	Expresiones de K_{I} para fisuras cortas.....	39

Expresiones generales de K_I y CMOD para $a/D < 0.7$	40
2.3.1.4 Variación de la apertura de fisura CMOD, con la carga aplicada	41
2.3.1.5 Predicción de la carga de rotura.....	43
2.3.1.6 Aplicación del modelo al ensayo brasileño	43
Resistencia a la tracción indirecta en probetas de gran tamaño.....	44
2.3.1.7 Relación entre el valor de la resistencia a la tracción indirecta del ensayo brasileño y el módulo de rotura del ensayo de flexión.....	45
2.3.2. Modelos de fractura no lineales.....	46
2.3.2.1 Modelo de Shah y Jenq.....	47
2.3.2.1.1 Descripción del modelo	47
2.3.2.1.2 Determinación de los parámetros del modelo: $CTOD_c$ y	48
2.3.2.1.3 Predicción de la carga de rotura	49
2.3.2.1.4 Aplicación del modelo al ensayo brasileño	49
2.3.2.1.5 Efecto del tamaño de probeta.....	49
2.3.2.1.6 Relación entre el valor de la resistencia a la tracción indirecta del ensayo brasileño y el módulo de rotura del ensayo de flexión	51
2.3.2.2 Modelo de fisura cohesiva	51
2.3.2.2.1 Descripción	51
2.3.2.2.2 Determinación de los parámetros de la curva de ablandamiento.....	53
2.3.2.2.3 Predicción de la carga de rotura: Implementación del modelo mediante métodos numéricos.....	54
2.3.2.2.4. Aplicación del modelo al ensayo brasileño	56
2.3.2.2.5 Efecto del tamaño de probeta.....	57
2.3.2.2.6 Efecto del ancho de reparto.....	58
2.3.2.2.7 Relación entre la resistencia a la tracción indirecta medida en probetas prismáticas y en probetas cilíndricas.....	58
2.3.2.2.8 Relación entre el valor de la resistencia a la tracción indirecta del ensayo brasileño y el módulo de rotura del ensayo de flexión	59
2.3.2.2.9 Curvas carga-apertura de fisura.....	60

Capítulo 3: Resultados

3.1 Introducción	61
3.2 Materiales	62
3.2.1 Roca granítica.....	62
3.2.2 Hormigón.....	62
3.2.2.1 Materiales componentes del hormigón.....	62
3.2.2.2 Dosificación.....	63

3.2.2.3	Fabricación del hormigón	64
3.3	Ensayos	64
3.3.1	Ensayos de caracterización.....	65
3.3.2	Ensayos brasileños	65
3.4	Probetas	65
3.4.1	Probetas de Granito.....	65
3.4.1.1	Fabricación.....	65
3.4.1.2	Características geométricas de las probetas	67
3.4.2	Probetas de hormigón.....	68
3.4.2.1	Fabricación.....	68
3.4.2.2	Características geométricas de las probetas.	70
3.5	Métodos Experimentales.....	72
3.5.1	Equipos de uso general.	72
3.5.1.1	Máquinas de ensayos.....	72
3.5.1.2	Células de carga.....	72
3.5.1.3	Extensómetros.....	72
3.5.1.4	Sistema de adquisición de datos.....	72
3.5.2	Descripción de los ensayos.....	72
3.5.2.1	Ensayos de caracterización y control.....	72
3.5.2.2	Ensayo brasileño.....	76
3.5.2.2.1	Aspectos generales del ensayo	76
3.5.2.2.2	Ensayos brasileños estables.	76
3.5.2.2.3	Ensayos brasileños inestables.....	79
3.6	Resultados	80
3.6.1	Resultado de los ensayos de control y caracterización.....	80
3.6.1.1	Hormigón.....	80
3.6.1.2	Granito	86
3.6.2	Resultado de los ensayos brasileños	88
3.6.2.1	Hormigón.....	88
3.6.2.2	Granito	90

Capítulo 4: Análisis de resultados

4.1	Análisis de variables	93
4.1.1	Influencia del tamaño	93
4.1.1.1	Modelo de tensión límite.....	93
4.1.1.2	Modelo de fractura elástica lineal.....	95
4.1.1.3	Modelo de Jenq y Shah.....	95
4.1.1.4	Modelo de fisura cohesiva.....	96

4.1.1.5 Comparación entre los distintos modelos.....	97
4.1.1.6 Influencia del tamaño y su vinculación con las normas de ensayo.....	97
4.1.2 Influencia del ancho de reparto.....	100
4.1.2.1 Modelo de tensión límite.....	100
4.1.2.2 Modelo de fisura cohesiva.....	101
4.1.2.3 Comparación entre los modelos.....	102
4.1.2.4 Influencia del ancho de reparto y su vinculación con las normas de ensayo.....	103
4.1.3 Influencia del tipo de probeta.....	104
4.1.3.1 Modelo de tensión límite.....	104
4.1.3.2 Modelo de fisura cohesiva.....	105
4.1.3.3 Influencia del tipo de probeta y su vinculación con las normas.....	106
4.1.4 Relación entre la resistencia a la tracción indirecta y el módulo de rotura.....	106
4.1.4.1 Modelo de tensión límite.....	106
4.1.4.2 Modelo de fractura elástica lineal.....	107
4.1.4.3 Modelo de Jenq y Shah.....	108
4.1.4.4 Modelo de Fisura cohesiva.....	108
4.1.4.5 Comparación con la fórmulas empíricas de los reglamentos.....	109
4.1.5 Fórmulas empíricas.....	109
4.2 Mecanismos de Rotura.....	110
4.2.1 Ensayos estables.....	110
4.2.1.1 Técnica empleada para registrar la propagación de fisuras.....	111
4.2.1.2 Inicio y propagación de fisuras durante el ensayo.....	111
4.2.1.3 Aspecto de las probetas.....	113
4.2.1.4 Mecanismo de rotura.....	115
4.2.1.5 Interpretación del mecanismo de rotura mediante el modelo de fisura cohesiva.....	116
4.2.1.6 Efecto del tamaño y del ancho de reparto sobre las cargas máximas asociadas a los mecanismos de rotura principal y secundario.....	117
4.2.1.7 Comentario final.....	118
4.2.2 Ensayos estables de media probeta.....	119
4.2.2.1 Inicio y propagación de fisuras durante el ensayo.....	119
4.2.2.2 Predicción de la carga de rotura de las medias probetas.....	121
4.2.2.3 Comparación entre la carga de rotura de probetas enteras y medias probetas.....	121
4.2.2.4 Ancho de reparto crítico.....	122
4.2.3 Ensayos inestables.....	123
4.2.3.1 Inicio y propagación de fisuras durante el ensayo.....	123
4.2.3.2 Aspecto de las probetas.....	124
4.2.3.3 Comparación entre la resistencia a la tracción indirecta de los ensayos estables e inestables.....	125
4.2.3.4 Influencia de la velocidad de ensayo.....	126

Conclusiones y Trabajo Futuro

5.1 Conclusiones	127
1-.Sobre la influencia del tamaño y del ancho de reparto	127
2-.Sobre la influencia de tipo de probeta.....	128
3-.Sobre la relación entre la resistencia a la tracción indirecta del ensayo brasileño y el módulo de rotura del ensayo de flexión.....	128
4-.Sobre la estimación de la resistencia a la tracción a partir del ensayo brasileño.....	128
5-.Sobre los mecanismos de rotura.....	129
6-.Sobre la velocidad de ensayo	129
5.2 Trabajo futuro	129

Bibliografía	131
---------------------	-----

Anexo A: Métodos de Cálculo	141
------------------------------------	-----

Anexo B: Resultado de los Ensayos	149
--	-----