



Departamento de Ingeniería del Terreno,  
Cartográfica y Geofísica

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL  
COMPORTAMIENTO HIDROMECÁNICO DE  
UNA ARCILLA COMPACTADA.

**TESIS DOCTORAL**

Presentada por:  
Carlos Manuel Buenfil Berzunza

Directores de tesis:  
Antonio Lloret Morancho  
Antonio Gens Solé

---

Barcelona, Septiembre de 2007

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Tipos de estructura del suelo (Alonso et al., 1987).....	13
Figura 2.2	Microfotografías obtenidas en un microscopio electrónico de barrido, SEM) de un limo compactado: 1. en el lado seco del óptimo; 2. en el contenido de humedad óptimo; 3. en el lado húmedo del óptimo (Delage et al (1996)).....	15
Figura 2.3	Curva de retención (Kawai et al. (2000)).....	18
Figura 2.4	Efecto de la microestructura sobre la curva de retención de una arcilla Boom compactada (Romero y Vaunat 2000).....	19
Figura 2.5	Características suelo-agua para muestras compactadas con diferentes humedades iniciales (Vanapalli et al. 1999).....	21
Figura 2.6	Valor de entrada de aire vs. índice de poros inicial según las características de compactación del suelo (Vanapalli et al. 1999).....	21
Figura 2.7	Cambio de grado de saturación durante etapas de mojado (Pereira y Fredlund (2000)).....	22
Figura 2.8	Curvas de compactación estática para diferentes tensiones verticales incluyendo contornos de igual grado de saturación ( $S_r$ ) y de igual succión ( $s$ ) (Tarantino y Tombolato (2005)).....	24
Figura 2.9	Equipo triaxial con succión controlada (Bishop y Donald, 1961).....	29
Figura 2.10	Esquema de la Célula triaxial con control de succión usada en Barrera (2002).....	31
Figura 2.11	Colapsos obtenidos por Maswoswe (1985).....	38
Figura 2.12	Deformaciones volumétricas debido a colapso bajo diferentes tensiones isotropas e índices de poros iniciales (Sun et al. 2004).....	39
Figura 2.13	Efecto de la carga y del contenido de agua en la deformación volumétrica. Resultados obtenidos mediante ensayos de doble edómetro, con muestras compactadas mediante impactos al 80% de compactación relativa (Lawton et al., 1989).....	40
Figura 2.14	Comportamiento de colapso en una arena arcillosa compactada (Lawton et al., 1989).....	42
Figura 2.15	Efecto del método de compactación sobre la curva de cambio de deformación volumétrica contra presión vertical (Compactación relativa de 80%, contenido de agua del 10%; y compactación relativa de 85%, contenido de agua del 16%).....	43
Figura 2.16	Cambios de índice de poros durante la saturación bajo carga (Pereira y Fredlund (2000)).....	44
Figura 2.17	Cambios de volumen y grado de saturación durante el mojado bajo carga (Sun et al. 2004).....	45
Figura 2.18	Curvas de compresión isotropa en diferentes valores de succión constante de un gneis residual (1 metro de profundidad) (Futai y Almeida (2005)).....	46
Figura 2.19	Curvas de compresión isotropa en diferentes valores de succión constante (Sivakumar y Wheeler, 2000).....	46
Figura 2.20	Compresibilidad de muestras de arcillas compactadas (Reséndiz (1975)).....	48
Figura 2.21	Deformaciones de colapso v.s. índice de poros inicial para diferentes $\sigma_1/\sigma_3$ en compresión triaxial ( $p=296$ kPa) (Sun et al. (2003)).....	50

*Lista de figuras*

Figura 2.22	Curva de fluencia bajo valores de succión constante de un suelo residual gneis (5 metros de profundidad) (Futai y Almeida (2005)).....	53
Figura 2.23	Determinación experimental de curva de fluencia para varias succiones (Cui y Delage (1996)).....	53
Figura 2.24	Resistencia al corte vs. succión y tensión normal neta para la arena arcillosa de Madrid (Escario y Sáez, 1986).....	54
Figura 2.25	Superficies de estado para el índice de poros y el grado de saturación (Matyas y Radakrishna, 1968).....	57
Figura 2.26	Curvas de fluencia Carga-Colapso (LC) e Incremento de Succión (SI) (Alonso et al. 1990).....	57
Figura 2.27	Curva de fluencia carga-colapso (LC) en el plano (p-u <sub>a</sub> ) vs. succión (Rampino et al. (2000)).....	59 61
Figura 2.28	Influencia de la succión sobre los parámetros $\lambda$ y $\kappa$ (Rampino et al. (2000))..	62
Figura 2.29	Variación de $\lambda$ y $\kappa$ con la succión para muestras (extraídas de 1 metro y 5 metros de profundidad) (Futai y Almeida (2005)).....	63
Figura 2.30	Superficie de fluencia del modelo BBM en los planos (p, q) y (s, p).....	63
Figura 2.31	Superficie de fluencia del modelo BBM en el espacio (p, q, s).....	69
Figura 2.32	Influencia de la presión de compactación sobre el comportamiento bajo compresión isótropa (Sivakumar y Wheeler, 2000).....	70
Figura 2.33	Curva de fluencia LC para muestras densas y sueltas (Estabragh et al. 2004).	70
Figura 2.34	Variación de $\lambda(s)$ con la succión para muestras densas y sueltas (Estabragh et al. 2004).....	71
Figura 2.35	Influencia de la compactación estática o dinámica sobre el comportamiento bajo compresión isótropa (Sivakumar y Wheeler 2000).....	71
Figura 2.36	Estado crítico de muestras compactadas estáticamente con presión de compactación de 400 y 800 kPa, y muestra compactada de forma dinámica (los resultados de los tres tipos se presentan juntos). (Wheeler y Sivakumar (2000)).....	72
Figura 2.37	Puntos aparentes de fluencia y curvas LC de una arena limosa de Metrazo, compactada en el contenido óptimo de agua y del lado húmedo (Mancuso et al., 2002).....	73 81
Figura 3.1	Esquema de la célula triaxial con control de succión.....	
Figura 3.2	Disposición del equipo experimental para ensayo triaxial con control de tensiones y de succión: sistema de control automatizado de presiones y sistema de medida totalmente instrumentado.....	82
Figura 3.3	Fotografía del equipo triaxial con control de succión, sistema de control automatizado de presiones y sistema de medida totalmente instrumentado.....	83
Figura 3.4	Fotografía de la célula triaxial con control de succión: cámara de confinamiento de metacrilato cubierta por un cilindro de acero inoxidable AISI 316; Sistema de medida radial (sensor láser).....	83
Figura 3.5	a) Fotografía de la célula de carga, b) Esquema de la ubicación de las bandas extensométricas en la célula de carga, c) diagrama del puente de Wheatstone.....	90

*Lista de figuras*

Figura 3.6	Relación, experimental y teórica, entre las presiones dentro del cilindro neumático ( $\sigma_p$ ) y la medida de tensión registrada en la célula de carga ( $q=C/A$ ), bajo presión de confinamiento (tensión radial, $\sigma_r$ ) constante de: 0, 200 y 1000 kPa.....	94
Figura 3.7	Vista ampliada de la relación, experimental y teórica, entre las presiones dentro del cilindro neumático ( $\sigma_p$ ) y la medida de tensión registrada en la célula de carga ( $q=C/A$ ), bajo presión de confinamiento (tensión radial, $\sigma_r$ ) constante de: 0, y 200 kPa.....	94
Figura 3.8	Relación, experimental y teórica, entre la presión de confinamiento (tensión radial, $\sigma_r$ y la presión dentro del cilindro neumático ( $\sigma_p$ ), bajo tensión de corte ( $q$ ) constante de: 20 y 25 kPa.....	97
Figura 3.9	Vista ampliada de la relación, experimental y teórica, entre la presión de confinamiento (tensión radial, $\sigma_r$ ) y la presión dentro del cilindro neumático ( $\sigma_p$ ), bajo tensión de corte ( $q$ ) constante de: 20 y 25 kPa.....	97
Figura 3.10	a) Fotografía de cabezal y pedestal: disco cerámico (AVEA), combinación anillo poroso de acero y diseño de la base para la eliminación del aire disuelto a través del disco cerámico; b) Esquema del sistema de aplicación de la presión de aire y agua (combinación del disco cerámico, AVEA, y anillo poroso).....	100
Figura 3.11	Sistema de motor paso a paso modelo HN 200-3426-0140 AX08, ligado a un módulo controlador bipolar GS-DC200, operando sobre un regulador de alta presión (rango de trabajo: 35 kPa hasta 2.8 MPa). Es usado para controlar la presión de confinamiento o presión de agua (en traslación de ejes).....	102
Figura 3.12	Sistema de motor paso a paso que controla un regulador de presión de precisión R27 con rango entre 0.14 y 8 bar. Este sistema fue realizado en el Imperial Collage, y es usado para controlar la presión de aire que entra al cilindro neumático Bellofram ( $\sigma_p$ ).....	102
Figura 3.13	Montaje inicial de la muestra: instalación de los LVDTs internos, colocación de pintura y montaje del pedestal con la célula de carga.....	105
Figura 3.14	Dispositivos externos de medida: LVDT externo y sensor láser sujeto a una base movable.....	106
Figura 3.15	Resultados de la deformación vertical del sistema de aplicación de carga por incrementos y decrementos de la tensión de corte a una velocidad de 30 kPa por minuto, bajo presiones de confinamiento constantes ( $\sigma_r$ ) de 0 y 1000 kPa.....	109
Figura 3.16	Resultados de la deformación vertical del sistema de aplicación de carga en un ciclo de carga-descarga sin presión de confinamiento ( $\sigma_r=0$ ).....	109
Figura 3.17	a) Esquema del cabezal sensor de deformación radial y técnica de triangulación óptica. b) Efecto de la refracción sobre el cabezal sensor (Romero, 1999).....	112
Figura 3.18	Curvas de calibración para diferentes medios transparentes (aire y aire-metacrilato-aire) y con dos diferentes presiones de confinamiento ( $\sigma_r=0$ y 1500 kPa, en el medio transparente aire-metacrilato-aire).....	113
Figura 3.19	Influencia de los cambios de presión de confinamiento sobre del offset (en mm) de los sensores láser.....	115

*Lista de figuras*

---

Figura 3.20	Perfiles de una probeta falsa de acero sin membrana recubriéndolo y sin presión de confinamiento. Escala horizontal 10 veces la escala vertical. Con la lectura de los sensores convertida a milímetros.....	119
Figura 3.21	Perfiles de una probeta falsa de acero sin membrana recubriéndolo y sin presión de confinamiento. Escala horizontal 5 veces la escala vertical. Con la lectura de los sensores convertida a milímetros.....	120
Figura 3.22	Perfiles de una probeta falsa de acero, sin membrana recubriéndolo, bajo presión de confinamiento de $\sigma_r = 0$ y $\sigma_r = 800$ kPa. Escala horizontal 40 veces la escala vertical. Con la lectura de los sensores convertida a milímetros.....	122
Figura 3.23	Representación de un disco (generando un sólido de revolución ) en un perfil de desplazamientos laterales de la muestra.....	125
Figura 3.24	a) Disposición del sistema de medida de variación de volumen de agua de la muestra: bureta de doble cámara con transductor de presión diferencial (TPD) conectada a la línea de presión de agua; b) Vista ampliada de TPD con bureta de doble cámara.....	128
Figura 3.25	Detalle de conexión de transductor de presión diferencial TPD con bureta de doble cámara.....	129
Figura 3.26	Relaciones entre el cambio de volumen de agua medido visualmente en la bureta graduada y la obtenida con base a medidas del peso del agua que sale de la buretas.....	131
Figura 3.27	Resultado de las calibraciones del transductor de presión diferencial (TPD) obtenidas con base a medidas del peso del agua que sale de las buretas y con base a lecturas en la bureta graduada.....	132
Figura 3.28	Resultado de las calibraciones del transductor de presión diferencial (TPD) bajo diferentes presiones de agua dentro del sistema, con base a lecturas en la bureta graduada.....	132
Figura 3.29	Calibraciones de los medidores de volumen con transductor de presión diferencial (TPD) ante incrementos de presiones de agua. Se toma en cuenta el sistema completo de aplicación de presión de agua (buretas, tubos, interceptor de burbujas de aire y válvulas).....	133
Figura 3.30	Pantalla del PC presentando los datos adquiridos de los 14 sensores en unidades de ingeniería y en tiempo real.....	136
Figura 3.31	Volumen de agua contra lapsos de tiempo durante las pruebas para determinar el coeficiente de permeabilidad de los discos cerámicos AVEA....	
Figura 3.32	Volumen de agua contra lapsos de tiempo durante las pruebas para verificar la saturación de los discos cerámicos AVEA.....	138
Figura 3.33	Determinación de los módulos de compresión de: una membrana sin usar, otra membrana después de ser utilizada en un ensayo (de larga duración) y de dos membranas juntas.....	139
Figura 3.33	Determinación de los módulos de compresión de: una membrana sin usar, otra membrana después de ser utilizada en un ensayo (de larga duración) y de dos membranas juntas.....	142
Figura 3.34	Célula edométrica con control de tensión lateral; (1) base y anillo instrumentado; (2) cuerpo central; (3) pistón de carga.....	145

Figura 3.35	Equipo triaxial: (1) célula triaxial, (2) control axial, (3) adquisición de datos y acondicionamiento de señal, (4) controladores digitales de presión y volumen (Barrera 2002).....	147
Figura 3.36	Triaxial automático (GDS Instruments Ltd).....	147
Figura 3.37	Controladores digital de presión y volumen, utilizados para imponer presión de confinamiento y presión de cola.....	148
Figura 4.1	Curva granulométrica para el suelo en estudio (CL de Barcelona).....	151
Figura 4.2	Tensión vertical total con peso específico seco para diferentes contenidos de humedad.....	155
Figura 4.3	Tensión vertical total con grado de saturación para diferentes contenidos de humedad.....	155
Figura 4.4	Curvas de compactación estática para diferentes valores de tensión vertical total.....	158
Figura 4.5	Molde y pistones de compactación para elaborar muestras en tres capas.....	162
Figura 4.6	Trayectoria de tensiones seguida en la compactación estática unidimensional. Trayectorias de descarga y recarga.....	166
Figura 4.7	Evolución de $K_0$ con respecto a la tensión vertical neta y tensión media neta, en la compactación estática unidimensional. $K_0$ en trayectorias de descarga y recarga.....	167
Figura 4.8	Evolución de $K_0$ con respecto al grado de saturación, en la compactación estática unidimensional.....	167
Figura 4.9	Distribución del tamaño de poros. Ciclo de intrusión y extrusión.....	172
Figura 4.10	Función de densidad de tamaño de poro evaluada desde resultados de la MIP	173
Figura 4.11	Microscopio electrónico de barrido ambiental Electroscan 2020 (ESEM).....	174
Figura 4.12	Microfotografías de Microscopio electrónico de barrido ambiental de la arcilla de Barcelona compactada: a) densidad baja, b) densidad alta.....	174
Figura 4.13	Curvas de retención de mojado y secado, de la arcilla de Barcelona en dos diferentes índice de poros.....	178
Figura 4.14	Comparación entre las curvas de retención obtenidas en el edómetro con control de succión y las curvas estimadas de resultados de la MIP.....	181
Figura 5.1	Trayectoria de tensiones de los ensayos I1, I2 e I3 (serie I) de consolidación isótropa y compresión triaxial a tensión controlada, bajo succión matricial constante ( $s=600, 100$ y $10$ kPa respectivamente).....	188
Figura 5.2	Trayectoria de tensiones del ensayo con control de succión IW de consolidación isótropa y succión matricial constante de $100$ kPa, mojado con relación tensión media neta ( $p-u_a$ ) y tensión de corte ( $q$ ) constante, y compresión triaxial a tensión controlada en condiciones saturadas.....	189
Figura 5.3	Trayectoria de tensiones del ensayo AW de consolidación anisótropa con relación $\eta=q/(p-u_a)$ constante y succión matricial constante de $100$ kPa, posterior mojado con relación tensión media neta ( $p-u_a$ ) y tensión de corte ( $q$ ) constante, y compresión triaxial a tensión controlada en condiciones saturadas.....	190

*Lista de figuras*

Figura 5.4	Trayectoria de tensiones del ensayo A1 de consolidación anisótropa con relación $\eta=q/(p-u_a)$ constante, posterior ciclo de descarga anisótropa-carga isotropa bajo succión controlada, y compresión triaxial a tensión controlada, en condiciones de succión matricial constante de 100 kPa.....	192
Figura 5.5	Trayectoria de tensiones del ensayo IWD con un ciclo de humedecimiento y secado a presión neta media constante, compresión isotropa y una posterior compresión triaxial, en condiciones de succión matricial constante de 100 kPa.....	193
Figura 5.6	Historia de la tensión radial, tensión de corte y de la presión de aire suministradas, y deformaciones axial y radial experimentadas, durante la fase de aplicación de la sobrepresión de aire.....	198
Figura 5.7	Esquema sin escala de la trayectoria de tensión media neta $(p-u_a)$ -succión matricial $(s)$ aplicados durante la etapa de equilibrio.....	201
Figura. 5.8	Trayectoria de compresión isotropa bajo condiciones de succión controlada (B-C) para los ensayos I1, I2 e I3.....	203
Figura. 5.9	Etapas de equilibrio (A-B); mojado y secado por etapas (B-C-D-E-F); y trayectoria de compresión isotropa bajo condiciones de succión controlada (F-G) para el ensayo IWD.....	203
Figura. 5.10	Evolución de las tensiones, deformaciones y variación de agua (en ew) con el tiempo, en la etapa de compresión isotropa en $s=100$ kPa, del ensayo I2-1.	210
Figura. 5.11	Etapas de equilibrio (A-B) y trayectoria de compresión anisótropa bajo condiciones de succión controlada (B-C), en el espacio $(p-u_a)$ - $s$ - $q$ , para los ensayos I2, A1 y AW.....	210
Figura. 5.12	Trayectoria de compresión anisótropa bajo condiciones de succión controlada (B-C), en el plano $(p-u_a)$ - $s$ , para los ensayos I2, A1 y AW.....	211
Figura. 5.13	Evolución de las tensiones, deformaciones y variación de agua (en ew) con el tiempo, en la etapa de compresión anisótropa en $s=100$ kPa, del ensayo IW.....	216
Figura. 5.14	Etapas de equilibrio (A-B), trayectoria de compresión, isotropa o anisótropa, bajo condiciones de succión controlada (B-C) y etapa de mojado (C-D), en el espacio $(p-u_a)$ - $s$ - $q$ , para los ensayos AW y AW.....	217
Figura. 5.15	Trayectoria de mojado bajo condiciones de relación $q/(p-u_a)$ constante (C-D), en el plano $(p-u_a)$ - $s$ , para los ensayos IW y AW.....	218
Figura. 5.16	Evolución del coeficiente de permeabilidad, la tensión efectiva y el gradiente hidráulico, con el tiempo, en la etapa de saturación de los ensayos triaxiales sobre muestras saturadas.....	228
Figura. 5.17	Etapas de compresión isotropa y etapa de corte, en el espacio $(p'-q)$ , para los ensayos SI1, SI2 y SI3.....	230
Figura. 5.18	Etapas de compresión anisótropa, en el espacio $(p'-q)$ , para el ensayo SA.....	230
Figura. 5.19	Etapas de compresión isotropa y anisótropa, y etapa de corte, en el espacio $(p'-q)$ , para el ensayo SM1.....	231
Figura. 5.20	Etapas de compresión isotropa y anisótropa, y etapa de corte, en el espacio $(p'-q)$ , para el ensayo SM2.....	232

*Lista de figuras*

Figura 6.1	Esquema, sin escala, de las trayectorias de humedecimiento o secado de la muestra desde su estado final de compactación, realizadas en los ensayos I1, I2, I3, A1, AW, IW e IWD. La fase 1 corresponde a la aplicación de la técnica de sobrepresión de aire (traslación de ejes) en condiciones no drenadas hasta conseguir una tensión neta p-ua de 23 kPa.....	233
Figura 6.2	Evolución del índice de poros, relación de agua y grado de saturación durante las etapas de equilibrio.....	237
Figura 6.3	Etapas de equilibrio de la aplicación de succión matricial $s=100$ kPa, en los ensayos I2, A1, AW e IW. Gráfica amplificada de la evolución del índice de poros, relación de agua y grado de saturación.....	238
Figura 6.4	Valores finales de parámetros mecánicos e hidráulicos graficados con la succión matricial, en la etapa de equilibrio de los ensayos I1, I2, I3 y IWD. Curva de retención, de $s=10$ kPa a 0 kPa, en humedecimiento a partir del estado final de compactación obtenida del ensayo EDO1. Valor del estado final de compactación en el espacio $e_w$ -log s y $e_w/e$ -log s. Y resultados de los ensayos saturados al final de la etapa de saturación.....	242
Figura 6.5	Esquema de curvas fluencia y trayectorias seguidas durante las etapas de equilibrio, y estado final de las etapas de saturación total de la muestra.....	245
Figura 6.6	Evolución del índice de poros y relación de agua durante cambio de succión de 10 a 0 kPa, etapa D-E, en el ensayo IWD. La saturación se efectuó con una carga hidráulica de agua, de 70 cm.....	246
Figura 6.6-2	Resultados de la relación de agua, $e_w$ , graficados con el índice de poros, $e$ , obtenidos en la etapa de equilibrio de los ensayos I1, I2, I3 y IWD; y de la curva de retención del ensayo EDO1, de $s=100$ kPa a 0 kPa, en humedecimiento a partir del estado final de compactación.....	250
Figura 6.7	Evolución de las deformaciones del suelo durante las etapas de equilibrio en los ensayos I1, I2, I3 e IWD, que corresponden a una succión aplicada de 600, 100, 10 y 200 respectivamente.....	253
Figura 6.8	Gráficas de deformación lateral-deformación axial y deformación volumétrica- deformación de corte obtenidas durante la etapa de equilibrio en los ensayos I1, I2, I3 e IWD, que corresponden a una succión aplicada de 600, 100, 10 y 200 respectivamente.....	254
Figura 6.9	Evolución de las deformaciones del suelo durante cambio de succión de 10 a 0 kPa, etapa D-E, en el ensayo IWD.....	257
Figura 6.10	Gráficas de deformación lateral-deformación axial y deformación volumétrica- deformación de corte obtenidas durante la etapa de saturación, trayectoria D-E, del ensayo IWD. Corresponden a un cambio de succión de 10 a 0 kPa.....	258
Figura 6.11	Variación de índice de poros y deformaciones del suelo durante las trayectorias de consolidación mediante rampa de incremento de presiones, bajo condiciones saturadas de la muestra.....	260
Figura 6.12	Relación de la deformación axial con la deformación radial durante las trayectorias de consolidación mediante rampa de incremento de presiones, bajo condiciones saturadas de la muestra.....	266

*Lista de figuras*

Figura 6.13	Relación de la deformación de corte con la deformación de volumétrica durante las trayectorias de consolidación mediante rampa de incremento de presiones, bajo condiciones saturadas de la muestra.....	266
Figura 6.14	Trayectorias compresión isotrópica bajo condiciones de succión controlada (B-C) para los ensayos I1, I2 e I3.....	268
Figura 6.15	Variación del índice de poros y relación de agua del suelo durante las trayectorias de consolidación isotrópica, bajo condiciones saturadas ( $s=0$ ) y no saturadas ( $s= 10, 100$ y $600$ kPa) de la muestra.....	275
Figura 6.16	Deformación volumétrica de la muestra obtenida con medidas local y global, durante la trayectoria de consolidación isotrópica bajo condiciones succión matricial de $s=100$ (ensayo I2).....	276
Figura 6.17	Trabajo desarrollado por unidad de volumen de la muestra durante las trayectorias de consolidación isotrópica bajo succión controlada de $10, 100$ y $600$ kPa.....	276
Figura 6.18	Curva fluencia LC producido por la compactación inicial.....	277
Figura 6.19	Variación de las deformaciones del suelo durante las trayectorias de consolidación isotrópica, bajo condiciones no saturadas ( $s= 10, 100$ y $600$ kPa)	279
Figura 6.20	Relación de la deformación axial con la deformación radial durante las trayectorias de consolidación mediante rampa de incremento de presiones, bajo condiciones parcialmente saturadas de la muestra.....	280
Figura 6.21	Relación de la deformación de corte con la deformación de volumétrica durante las trayectorias de consolidación mediante rampa de incremento de presiones, bajo condiciones parcialmente saturadas de la muestra.....	280
Figura 6.22	Evolución de la relación del incremento de la deformación de corte con el incremento de la deformación de volumétrica durante las trayectorias de consolidación bajo condiciones saturadas y parcialmente saturadas de la muestra.....	281
Figura 6.23	Gráfica ampliada de la variación del índice de poros, cambio de relación de agua y cambio del grado de saturación de la muestra, durante las trayectorias de consolidación isotrópica bajo succión controlada de $10, 100$ y $600$ kPa.....	283
Figura 6.24	Trayectoria seguida en el plano $e:\log(s)$ . Curvas principales de mojado y secado.....	285
Figura 6.24b	Resultados de las etapas de equilibrio y consolidación isotrópica con succión constante, representados en los planos $\log(p-u_a)-\log(s)$ , $\log(p-u_a)-e$ , $\log(s)-e_w$ y $e-e_w$ .....	288
Figura 6.25	Etapas de compresión anisótropa, en el espacio $(p'-q)$ , para el ensayo SA.....	290
Figura 6.26	Etapas de compresión isotrópica y anisótropa, y etapa de corte, en el espacio $(p'-q)$ , para el ensayo SM1.....	290
Figura. 6.27	Etapas de compresión isotrópica y anisótropa, y etapa de corte, en el espacio $(p'-q)$ , para el ensayo SM2.....	291
Figura 6.28	Variación de índice de poros y deformaciones del suelo durante las trayectorias de consolidación anisótropa, mediante rampa cuasicontinua de incremento de presiones, bajo condiciones saturadas de la muestra.....	293
Figura 6.29	a) Trabajo desarrollado por unidad de volumen de la muestra saturada ( $W$ ) con la tensión media efectiva $(p')$ , durante las trayectorias de consolidación anisótropa; b) Gráfica $p'-W$ ampliada.....	294

*Lista de figuras*

Figura 6.30	Trabajo desarrollado por unidad de volumen de la muestra saturada con la tensión de corte, durante las trayectorias de consolidación anisótropa.....	295
Figura 6.31	Tensiones de fluencia de la muestra saturada (con deformaciones de colapso en la saturación) obtenidos en los ensayos, y la superficie de fluencia teórica estimada.....	297
Figura 6.32	Variación de índice de poros durante las trayectorias de consolidación, bajo condiciones saturadas de la muestra, en el ensayo SM2.....	298
Figura 6.33	Variación de índice de poros durante las trayectorias de consolidación, bajo condiciones saturadas de la muestra, en el ensayo SM1.....	298
Figura 6.34	a) Tensiones de fluencia de la muestra saturada, obtenidos en las trayectorias de consolidación y en trayectorias múltiples de carga, descarga y recarga, y superficies de fluencia teóricas; b) Valores normalizados de las tensiones de fluencia de la muestra saturada, obtenidos en las trayectorias de consolidación y en trayectorias múltiples de carga, descarga y recarga, con una superficie de fluencia normalizada.....	300
Figura 6.35	Etapas de equilibrio (A-B) y trayectoria de compresión anisótropa bajo condiciones de succión controlada (B-C), en el espacio $(p-u_a)$ - $s$ - $q$ , para los ensayos I2, A1 y AW.....	303
Figura 6.36	Trayectoria de compresión anisótropa bajo condiciones de succión controlada (B-C), en el plano $(p-u_a)$ - $s$ , para los ensayos I2, A1 y AW.....	304
Figura 6.37	Variación de índice de poros, relación de agua y grado de saturación del suelo durante las trayectorias de consolidación anisótropa, mediante rampa cuasicontinua de incremento de presiones, bajo una succión matricial de 100 kPa.....	305
Figura 6.38	Variación de las deformaciones del suelo con respecto a la tensión media neta, durante las trayectorias de consolidación anisótropa, mediante rampa cuasicontinua de incremento de presiones, bajo una succión matricial de 100 kPa.....	307
Figura 6.39	a) Trabajo desarrollado por unidad de volumen de la muestra no saturada (W) con la tensión media neta $(p-u_a)$ , durante las trayectorias de consolidación anisótropa.....	308
Figura 6.40	Trabajo desarrollado por unidad de volumen de la muestra no saturada (W) con la tensión de corte $(q)$ , durante las trayectorias de consolidación anisótropa.....	308
Figura 6.41	Curva de fluencia para suelos saturados propuesta en el modelo de Wheeler et al. 2003 para suelos saturados.....	309
Figura 6.42	Tensiones de fluencia de la muestra con succión matricial de 100 kPa, obtenidos en las trayectorias de consolidación isotrópica y anisótropa, y superficies de fluencia teóricas.....	313
Figura 6.43	Trayectoria del ensayo A1: consolidación anisótropa con $\eta=0.38$ hasta $p-u_a=200$ kPa, de B a D; descarga hasta $p-u_a=115$ kPa y $q=10$ kPa, de C a D; y recarga isotrópica hasta $p-u_a=400$ kPa, de D a E; en succión matricial constante de 100 kPa.....	314
Figura 6.44	Superficies de fluencia obtenidas en procesos de carga anisótropa, para diferentes valores de la presión aparente de preconsolidación $(p-u_a)_0$ .....	316

*Lista de figuras*

Figura 6.45	Tensiones de fluencia y superficies de fluencia normalizadas a) Modelo isótropo, b) Modelo anisótropo.....	317
Figura 6.46	Relación de la deformación axial con la deformación radial durante las trayectorias de consolidación isótropa y anisótropa, bajo una succión matricial de 100 kPa en la muestra.....	318
Figura 6.47	Relación de la deformación de corte con la deformación de volumétrica durante las trayectorias de consolidación isótropa y anisótropa, bajo una succión matricial de 100 kPa en la muestra.....	323
Figura 6.48	Evolución de la relación del incremento de la deformación de corte con el incremento de la deformación de volumétrica durante las trayectorias de consolidación isótropa y anisótropa, bajo una succión matricial de 100 kPa en la muestra.....	323
Figura 6.49	Perfiles de los desplazamientos radiales de las muestras al inicio y final de las etapas de consolidación isótropa y anisótropa, bajo una succión matricial de 100 kPa. Escala horizontal es aproximadamente 10 veces la escala vertical. En la figuras no es representado el diámetro real de la muestra.....	324
Figura 6.50	Evolución de perfiles de las deformaciones radiales de las muestras durante las etapas de consolidación isótropa y anisótropa, bajo una succión matricial de 100 kPa.....	325
Figura 6.51	Valores normalizados de las tensiones de fluencia, de la muestra con succión matricial de 100 kPa y muestra saturada con deformaciones volumétricas de colapso previo, obtenidos en las trayectorias de consolidación isótropa y anisótropa, y en trayectoria de carga anisótropa, descarga y recarga isótropa. Superficies de fluencia teóricas normalizadas.....	326
Figura 6.52	Evolución de la relación del incremento de la deformación de corte con el incremento de la deformación de volumétrica durante las trayectorias de consolidación isótropa y anisótropa en: 1) condiciones saturadas con colapso previo, y 2) bajo una succión matricial de 100 kPa en la muestra.....	327
Figura 6.53	Evolución de la de la relación del incremento de la deformación de corte con el incremento de la deformación de volumétrica durante las trayectorias de consolidación isótropa bajo condiciones saturadas y parcialmente saturadas de la muestra. Solo se presenta la evolución de $\delta\epsilon_s/\delta\epsilon_v$ experimentada después de la tensión de fluencia.....	329
Figura 6.54	Gráfica de $\delta\epsilon_s/\delta\epsilon_v$ experimentada en la tensión media neta (o efectiva) de fluencia, durante la consolidación isótropa, con la succión matricial ( $s-\delta\epsilon_s/\delta\epsilon_v$ ) y con el grado de saturación ( $S_r-\delta\epsilon_s/\delta\epsilon_v$ ).....	329
Figura 6.55	Etapa de equilibrio (A-B), trayectoria de compresión, isótropa o anisótropa, bajo condiciones de succión controlada (B-C) y etapa de mojado (C-D), en el espacio (p-ua)-s-q, para los ensayos AW y AW.....	330
Figura 6.56	Trayectoria de mojado bajo condiciones de relación q/(p-ua) constante (C-D), en el plano (p-ua)-s, para los ensayos IW y AW.....	331
Figura 6.57	Evolución de la succión matricial aplicada en los bordes, deformaciones y variación de agua (en ew) con el tiempo, en la etapa de reducción cuasi-continua de succión matricial de s=100 a 10 kPa, del ensayo IW, bajo condiciones isótropas de tensiones (q≈0 kPa).....	337

*Lista de figuras*

Figura 6.58	Evolución de la succión matricial aplicada en los bordes, deformaciones y variación de agua (en $e_w$ ) con el tiempo, en la etapa de reducción cuasi-continua de succión matricial de $s=100$ a $10$ kPa, del ensayo AW, bajo condiciones anisótropas de tensiones ( $\eta=q/p-u_a=0.75$ ).....	337
Figura 6.59	Succión matricial (aplicada en los bordes) y relación de agua ( $e_w$ ), en la etapa de reducción cuasi-continua de succión matricial de $s=100$ a $10$ kPa, del ensayo IW, bajo condiciones isotópicas de tensiones.....	338
Figura 6.60	Succión matricial (aplicada en los bordes) y relación de agua ( $e_w$ ), en la etapa de reducción cuasi-continua de succión matricial de $s=100$ a $10$ kPa, del ensayo AW, bajo condiciones anisótropas de tensiones ( $\eta=q/p-u_a=0.75$ )..	338
Figura 6.61	Gráfica de succión matricial (aplicada en los bordes) con índice de poros ( $e_w$ ), relación de agua ( $e_w$ ) y grado de saturación, en la etapa de reducción cuasi-continua de succión matricial de $s=100$ a $10$ kPa, de los ensayos IW y AW.....	343
Figura 6.62	Gráfica relación de agua ( $e_w$ ) con índice de poros, en la etapa de reducción cuasi-continua de succión matricial de los ensayos IW y AW.....	343
Figura 6.63	Gráfica de succión matricial (aplicada en los bordes) con deformaciones volumétrica, axial, radial y de corte; y con la relación entre deformación axial y radial, en la etapa de reducción cuasi-continua de succión matricial de $s=100$ a $10$ kPa, de los ensayos IW y AW.....	347
Figura 6.64	Relación de la deformación axial con la deformación radial durante la etapa de reducción cuasi-continua de succión matricial de $s=100$ a $10$ kPa, de los ensayos IW y AW.....	348
Figura 6.65	Relación de la succión aplicada y deformación de corte con la deformación de volumétrica, durante en la etapa de reducción cuasi-continua de succión matricial de $s=100$ a $10$ kPa, de los ensayos IW y AW.....	348
Figura 6.66	Perfiles de los desplazamientos radiales de las muestras al inicio y final de la etapa de reducción cuasi-continua de succión matricial de $s=100$ a $10$ kPa, de los ensayos IW y AW. Escala horizontal es aproximadamente 10 veces la escala vertical. En la figuras no es representado el diámetro real de la muestra.....	349
Figura 6.67	Esquema (no experimental) de la evolución, durante la consolidación y etapa de mojado I, de: a) la curva de fluencia LC; b) la curva de fluencia en el espacio $(p-u_a)-q$ en el ensayo IW; y c) la curva de fluencia en el espacio $(p-u_a)-q$ en el ensayo AW.....	352
Figura 6.68	Esquema en el espacio $p-u_a-q$ de la dirección de los incrementos de deformación tras los procesos de carga (ensayos SI2, SM1 y SA en $s=0$ kPa e I2, IW, A1 y AW en $s=100$ kPa), y de reducción de succión (ensayos IW y AW).....	354
Figura 6.69	Resultados de las etapas de equilibrio, consolidación isotropa con succión constante y mojado del ensayo IW; con los resultados de las etapas de saturación, consolidación isotropa sobre una muestra saturada del ensayo SII; representados en los planos $\log(p-u_a)-\log(s)$ , $\log(p-u_a)-e$ , $\log(s)-e_w$ y $e-e_w$ .....	356

*Lista de figuras*

Figura 6.70	Resultados de las etapas de equilibrio, consolidación isotrópica con succión constante y mojado de los ensayo IW y AW, representados en los planos $\log(p-u_a)-\log(s)$ , $\log(p-u_a)-e$ , $\log(s)-e_w$ y $e-e_w$ .....	357
Figura 7.1	Etapa de compresión isotrópica y etapa de corte, en el espacio $(p'-q)$ , para los ensayos SI1, SI2 y SI3.....	359
Figura 7.2	Gráfica de tensión de corte $q$ , deformación de corte $\varepsilon_s$ y deformación volumétrica $\varepsilon_v$ con la deformación axial $\varepsilon_a$ , de los resultados en los ensayos SI1, SI2 y SI3.....	360
Figura 7.3	Gráfica de tensión de corte $q$ normalizada con la tensión media efectiva impuesta al iniciar la compresión triaxial (tensión de fluencia o presión de preconsolidación) con la deformación axial $\varepsilon_a$ , de los resultados en los ensayos SI1, SI2 y SI3.....	361
Figura 7.4	Gráficas de la evolución de: a) la dirección de incremento de deformación plástica $\delta\varepsilon_v/\delta\varepsilon_s$ con la relación $\eta=q/p'$ ; b) dirección $\delta\varepsilon_s/\delta\varepsilon_v$ con la relación $\eta=q/p'$ ; y c) dirección $\delta\varepsilon_s/\delta\varepsilon_v$ con la relación $\eta=q/p'$ ampliada; obtenidos de los ensayos SI1, SI2 y SI3.....	363
Figura 7.5	Etapas de compresión isotrópica y anisótropa, y etapa de corte, en el espacio $(p'-q)$ , para el ensayo SM1.....	364
Figura 7.6	Gráfica de tensión de corte $q$ , deformación de corte $\varepsilon_s$ y deformación volumétrica $\varepsilon_v$ con la deformación axial $\varepsilon_a$ , de los resultados en el ensayo SM1.....	365
Figura 7.7	Gráfica de tensión de corte $q$ normalizada con la tensión media efectiva impuesta al iniciar la compresión triaxial (tensión de fluencia o presión de preconsolidación) con la deformación axial $\varepsilon_a$ , de los resultados en los ensayos SI1 y SM1.....	366
Figura 7.8	Valores de estado crítico para suelos saturados, en el plano tensión de corte $(q)$ - tensión media efectiva $(p')$ . Ensayos SI1, SI2, SI3 y SM1.....	368
Figura 7.9	Valores de estado crítico de índice de poros, $e$ , con la tensión media efectiva, $p'$ , para muestras saturadas. Ensayos SI1, SI2, SI3 y SM1.....	368
Figura 7.10	Evolución de las tensiones y variación de agua (en $e_w$ ) con el tiempo, en la etapa de compresión triaxial en $s=10$ kPa. Ensayo I3.....	372
Figura 7.11	Evolución de la tensión de corte, las deformaciones local y global, y variación de agua con respecto a la deformación axial, durante las trayectorias de compresión triaxial, bajo una succión matricial de 10 kPa. Ensayo I3.....	373
Figura 7.12	Evolución de la tensión de corte, las deformaciones local y global, y variación de agua con respecto a la deformación axial, durante las trayectorias de compresión triaxial, bajo una succión matricial de 100 kPa. Ensayo I2.....	374
Figura 7.13	Evolución de los perfiles de los desplazamientos laterales y deformaciones radiales de la muestra durante la trayectoria de compresión triaxial, bajo una succión matricial de 10 kPa. Ensayo I3. a) Con la escala horizontal 1:1 con la escala vertical; b) Con la escala horizontal aproximadamente 10 veces la escala vertical (no es representado el diámetro real de la muestra).....	375

*Lista de figuras*

Figura 7.14	Gráfica de a) deformación volumétrica local $\varepsilon_{vl}$ con la global $\varepsilon_{vg}$ ; b) Diferencias $\varepsilon_{vl}-\varepsilon_{vg}$ con la deformación axial $\varepsilon_a$ .....	379
Figura 7.15	Trayectoria de tensiones seguida en los ensayos SI1 e I2.....	382
Figura 7.16	Trayectoria de tensiones seguida en el ensayo IW.....	383
Figura 7.17	Trayectoria de tensiones seguida en el ensayo A1 y SI2.....	384
Figura 7.18	Trayectoria de tensiones seguida en el ensayo I1 y SI3.....	385
Figura 7.19	Resultados de la compresión triaxial en los ensayos SI1 ( $s=0$ kPa), IW ( $s=0.4$ kPa) e I2 ( $s=100$ kPa), en una $(p-u_a)=200$ kPa. Gráficas $\varepsilon_a-q$ , $\varepsilon_a-\varepsilon_s$ , $\varepsilon_a-\varepsilon_v$ , $\varepsilon_a-e_w$ y $\varepsilon_a-Sr$ .....	386
Figura 7.20	Resultados de la compresión triaxial en los ensayos SI2 ( $s=0$ kPa), y A1 ( $s=100$ kPa), en una $(p-u_a)=400$ kPa. Gráficas $\varepsilon_a-q$ , $\varepsilon_a-\varepsilon_s$ , $\varepsilon_a-\varepsilon_v$ , $\varepsilon_a-e_w$ y $\varepsilon_a-Sr$ .....	387
Figura 7.21	Resultados de la compresión triaxial en los ensayos SI3 ( $s=0$ kPa) e I1 ( $s=600$ kPa), en una $(p-u_a)=600$ kPa. Gráficas $\varepsilon_a-q$ , $\varepsilon_a-\varepsilon_s$ , $\varepsilon_a-\varepsilon_v$ , $\varepsilon_a-e_w$ y $\varepsilon_a-Sr$ .....	388
Figura 7.22	Resultados de la estabilización de las deformaciones y cambios de humedad de la muestra, después de interrumpir el incremento de tensiones durante el ensayo triaxial en I1 ( $s=600$ kPa).....	393
Figura 7.23	Resultados de la trayectoria total en los ensayos SI1 (consolidación y compresión triaxial $s=0$ kPa) e IW (compresión triaxial $s=0.4$ kPa). Resultados representados en los planos $\log(p-u_a)-\log(s)$ , $\log(p-u_a)-e$ , $\log(s)-e_w$ y $e-e_w$ .....	394
Figura 7.24	Resultados de la trayectoria total en los ensayos SI1 (consolidación y compresión triaxial en $s=0$ kPa) e I2 (consolidación y compresión triaxial $s=100$ kPa). Resultados representados en los planos $\log(p-u_a)-\log(s)$ , $\log(p-u_a)-e$ , $\log(s)-e_w$ y $e-e_w$ .....	395
Figura 7.25	Resultados de la trayectoria total en los ensayos SI2 (consolidación y compresión triaxial en $s=0$ kPa) y A1 (consolidación y compresión triaxial $s=100$ kPa). Resultados representados en los planos $\log(p-u_a)-\log(s)$ , $\log(p-u_a)-e$ , $\log(s)-e_w$ y $e-e_w$ .....	396
Figura 7.26	Resultados de la trayectoria total en los ensayos SI3 (consolidación y compresión triaxial en $s=0$ kPa) y I3 (consolidación y compresión triaxial $s=600$ kPa). Resultados representados en los planos $\log(p-u_a)-\log(s)$ , $\log(p-u_a)-e$ , $\log(s)-e_w$ y $e-e_w$ .....	397
Figura 7.27	Resultados de la compresión triaxial bajo succión matricial de $s=100$ kPa en los ensayos I2 ( $p-u_a=200$ kPa) y A1 ( $p-u_a=400$ kPa). Gráficas $\varepsilon_a-q$ , $\varepsilon_a-\varepsilon_s$ , $\varepsilon_a-\varepsilon_v$ , $\varepsilon_a-e_w$ y $\varepsilon_a-Sr$ .....	401
Figura 7.28	Trayectoria de tensiones del ensayo IWD con un ciclo de humedecimiento y secado a presión neta media constante, compresión isotrópica y una posterior compresión triaxial, en condiciones de succión matricial constante de 100 kPa.....	403
Figura. 7.29	Etapas de equilibrio (A-B); mojado y secado por etapas (B-C-D-E-F); y trayectoria de compresión isotrópica bajo condiciones de succión controlada (F-G) para el ensayo IWD.....	404
Figura. 7.30	Resultados de la etapa de equilibrio (A-B); mojado y secado por etapas (B-C-D-E-F); y trayectoria de compresión isotrópica bajo condiciones de succión controlada (F-G) y compresión triaxial del el ensayo IWD.....	407

*Lista de figuras*

Figura 7.31	Resultados de la trayectoria total en el ensayo IWD. Resultados representados en los planos $\log(p-u_a)$ - $\log(s)$ , $\log(p-u_a)$ - $e$ , $\log(s)$ - $e_w$ y $e$ - $e_w$ .....	408
Figura 7.32	Ubicación del estado de tensiones $p'=460$ kPa en la curva de compresión isotropa de la muestra saturada (ensayo SI2).....	409
Figura 7.33	Resultados de las trayectorias de consolidación isotropa de los ensayos I2 e IWD.....	410
Figura 7.34	Resultados con medidas locales (con LVDTs internos y externos) y globales, de la trayectoria de compresión triaxial del ensayo IWD.....	413
Figura 7.35	Resultados de las trayectorias de compresión triaxial de los ensayos I2 e IWD.....	414
Figura 7.36	Gráfica de relación de agua, $e_w$ , con tensión de corte, $q$ .....	415
Figura 7.37	Resultados de la trayectoria total en el ensayo I3. Curva de fluencia probable.....	417
Figura 7.37b	Resultados de la trayectoria total en el ensayo I3. Resultados representados en los planos $\log(p-u_a)$ - $\log(s)$ , $\log(p-u_a)$ - $e$ , $\log(s)$ - $e_w$ y $e$ - $e_w$ .....	419
Figura 7.38	Trayectoria de tensiones del ensayo AW de consolidación anisótropa con relación $\eta=q/(p-u_a)$ constante y succión matricial constante de 100 kPa, posterior mojado con relación tensión media neta ( $p-u_a$ ) y tensión de corte ( $q$ ) constante, y compresión triaxial a tensión controlada en condiciones saturadas.....	420
Figura 7.39	Resultados de las trayectorias de compresión triaxial del ensayo AW.....	421
Figura 7.39b	Muestras de los ensayos I2, I3, A1 e IW al finalizar la compresión triaxial. La muestra I2 fue seccionada en tres partes después de ser desmontada del equipo triaxial.....	424
Figura 7.40	Valores de estado crítico para suelos saturados y no saturados, en el plano tensión de corte ( $q$ )- tensión media efectiva ( $p'$ ). Todos los ensayos.....	426
Figura 7.41	Valores de la cohesión aparente, $p_s$ , con la succión matricial.....	428
Figura 7.42	Valores de estado crítico para suelos no saturados, en el plano índice de poros, $e$ , con la tensión media neta ( $e-p-u_a$ ).....	430
Figura 7.43	Gráficas de la evolución de: a) la dirección de incremento de deformación plástica $\delta\varepsilon_v/\delta\varepsilon_s$ con la relación $\eta=q/(p-u_a)$ ; b) dirección $\delta\varepsilon_s/\delta\varepsilon_v$ con la relación $\eta=q/(p-u_a)$ ; obtenidos de los ensayos SI1, I2 e IW.....	434
Figura 7.44	Gráficas de la evolución de: a) la dirección de incremento de deformación plástica $\delta\varepsilon_v/\delta\varepsilon_s$ con la relación $\eta=q/(p-u_a+p_s)$ ; b) dirección $\delta\varepsilon_s/\delta\varepsilon_v$ con la relación $\eta=q/(p-u_a+p_s)$ ; obtenidos de los ensayos SI1, I2 e IW.....	435
Figura 7.45	Gráficas de la evolución de: a) la dirección de incremento de deformación plástica $\delta\varepsilon_v/\delta\varepsilon_s$ con la relación $\eta=q/(p-u_a+p_s)$ ; b) dirección $\delta\varepsilon_s/\delta\varepsilon_v$ con la relación $\eta=q/(p-u_a+p_s)$ ; obtenidos de los ensayos SI2, y A1.....	436
Figura 7.46	Gráficas de la evolución de: a) la dirección de incremento de deformación plástica $\delta\varepsilon_v/\delta\varepsilon_s$ con la relación $\eta=q/(p-u_a+p_s)$ ; b) dirección $\delta\varepsilon_s/\delta\varepsilon_v$ con la relación $\eta=q/(p-u_a+p_s)$ ; obtenidos de los ensayos SI3, y I1.....	437
Figura 7.47	Gráficas de la evolución de: a) la dirección de incremento de deformación plástica $\delta\varepsilon_v/\delta\varepsilon_s$ con la relación $\eta=q/(p-u_a+p_s)$ ; b) dirección $\delta\varepsilon_s/\delta\varepsilon_v$ con la relación $\eta=q/(p-u_a+p_s)$ ; obtenidos de los ensayos I2 y A1.....	438

*Lista de figuras*

---

Figura 7.48	Gráficas de la evolución de: a) la dirección de incremento de deformación plástica $\delta\varepsilon_v/\delta\varepsilon_s$ con la relación $\eta=q/(p-u_a+p_s)$ ; b) dirección $\delta\varepsilon_s/\delta\varepsilon_v$ con la relación $\eta=q/(p-u_a+p_s)$ ; obtenido del ensayo I3.....	439
Figura 7.49	Resultados de las trayectorias de descarga-recarga de compresión triaxial en los ensayos I2, IWD e IW.....	440

