



Santiago de Cali, 01 de septiembre de 2014.

Señor

GUSTAVO MOLINA V.

Gerente Comercial

Cartontubos S.A.S.

Calle 13 # 27B-41 Bl. 8 Bodega 22

Cali

Asunto: Entrega de ensayos de laboratorio

Por medio de este documento se hace entrega de los resultados de los ensayos de Compresión diametral, efectuados sobre 8 muestras cilíndricas de cartón, con las referencias que se citan a seguir:

Muestras ensayadas	Referencia	Unidades
4	101.6 X 203.2 X 5	mm
4	76.2 X 152.4 X 4	mm

Los resultados de estos ensayos serán empleados en la simulación numérica del comportamiento mecánico del material a escala real.

Atentamente,

IVÁN FERNANDO OTÁLVARO CALLE

Coordinador Laboratorio de Ingeniería Civil

Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

Facultad de Ingeniería

Extensión 8355

Facultad de Ingeniería



ENSAYOS DE COMPRESIÓN DIAMETRAL

Los Ensayos de compresión diametral se efectuaron en una prensa INSTRON con capacidad de 10kN (ver Figura 1). Las muestras fueron ensayadas a compresión diametral a una velocidad de 1.0 mm/min, llevándolas a una deformación total de 13 mm. La Figura 2, muestra de forma detallada el montaje de la muestra en el equipo.



Figura 1. Prensa empleada en los ensayos



Figura 2. Detalle del montaje del ensayo de compresión diametral

A fin de caracterizar de forma detallada las deformaciones laterales generadas por la fuerza de compresión aplicada sobre la muestra, se instalaron dos medidores de desplazamiento digitales como se observa en la Figura 2. La deformación axial del espécimen fue medida directamente a través del LVDT ubicado en la celda de carga del equipo.

A continuación se presentan los datos de las muestras ensayadas así como los resultados obtenidos a partir de los ensayos de compresión diametral efectuados.



COMPRESIÓN DIAMETRAL SOBRE MUESTRAS DE LA REFERENCIA 101.6 X 203.2 X 5

Identificación de la muestra: ECDG-M1-E1

Tabla 1. Datos de la muestra M1

	1	2	3	4	Media
Altura (mm)	102.70	102.70	102.60	102.50	102.67
Diámetro exterior (mm)	208.90	208.75	207.95	209.05	208.53
Diámetro interior (mm)	203.40	202.95	202.60	203.40	202.98
Espesor (mm)	5.50	5.80	5.35	5.65	5.55
Peso (g)	258.50				258.50
Área (cm ²)	35.60				35.60

Tabla 2. Datos del ensayo

Tiempo (min)	Carga (N)	Deformación axial (mm/mm)	Deformación lateral (mm/mm)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.01	
0.50	14.22	0.00240	0.00139	4.00	0.58
1.00	23.48	0.00479	0.00221	6.63	0.46
1.50	30.15	0.00719	0.00259	8.50	0.36
2.00	40.70	0.00959	0.00355	11.43	0.37
2.50	52.45	0.01198	0.00484	14.66	0.40
3.00	64.21	0.01438	0.00614	17.99	0.43
3.50	75.73	0.01677	0.00719	21.35	0.43
4.00	87.74	0.01917	0.00825	24.64	0.43
4.50	99.91	0.02157	0.00935	27.84	0.43
5.00	110.50	0.02396	0.01031	30.96	0.43
5.50	124.30	0.02636	0.01160	33.93	0.44
6.00	131.30	0.02875	0.01232	36.84	0.43
6.50	141.20	0.03115	0.01328	39.62	0.43
7.00	150.30	0.03355	0.01424	42.27	0.42
8.00	168.00	0.03834	0.01630	47.13	0.43
8.50	175.40	0.04074	0.01741	49.40	0.43
9.00	183.50	0.04313	0.01822	51.52	0.42
9.50	191.00	0.04553	0.01928	53.57	0.42

Facultad de Ingeniería



Tiempo (min)	Carga (N)	Deformación axial (mm/mm)	Deformación lateral (mm/mm)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
10.00	197.80	0.04792	0.02028	55.53	0.42
10.50	204.50	0.05032	0.02115	57.36	0.42
11.00	210.60	0.05272	0.02206	59.14	0.42
11.50	216.20	0.05511	0.02287	60.77	0.42
12.00	221.70	0.05751	0.02359	62.30	0.41

Resultados gráficos

La Figura 3, presenta las curvas esfuerzo deformación axial y lateral de la muestra ECDG-M1-E1. En esta figura es posible observar que la deformación axial, es el doble de la deformación lateral, esto se debe a que la aplicación de la carga se hace perpendicular a uno de los diámetros de la muestra y la deformación lateral se produce en los costados de la misma.

El máximo esfuerzo de compresión alcanzado para 13 mm de desplazamiento fue de 62.30 kPa, la deformación axial para esta tensión fue de 5.8% y la deformación lateral asociada fue de 2.4%.

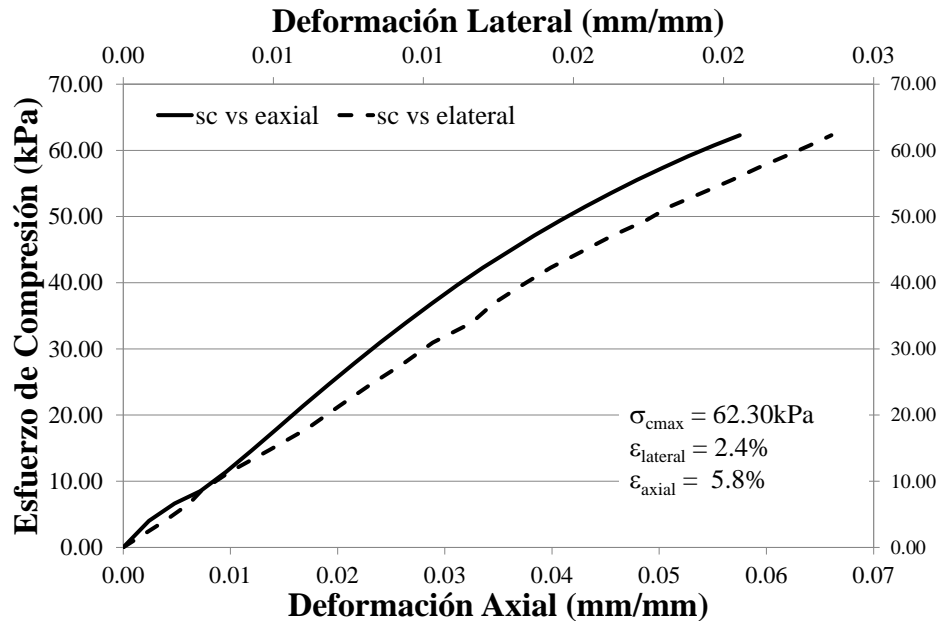


Figura 3. Curvas Esfuerzo vs. Deformación, muestra ECDG-M1-E1



Identificación de la muestra: ECDG-M2-E1

Tabla 3. Datos de la muestra M2

	1	2	3	4	Media
Altura (mm)	102.95	13.00	102.85	103.3	80.53
Diámetro exterior (mm)	207.60	209.90	209.40	207.85	208.69
Diámetro interior (mm)	202.30	203.95	203.70	202.15	203.03
Espesor (mm)	5.30	5.95	5.70	5.7	5.66
Peso (g)	259.40				259.40
Área	35.60				35.60

Tabla 4. Datos del ensayo

Tiempo (mm)	Carga (N)	Deformación axial (mm/mm)	Deformación lateral (mm/mm)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.02	
0.50	12.50	0.00240	0.00153	3.55	0.64
1.00	19.87	0.00479	0.00230	5.52	0.48
1.50	30.34	0.00719	0.00316	8.43	0.44
2.00	42.75	0.01198	0.00403	15.29	0.34
2.50	54.83	0.01438	0.00498	18.72	0.35
3.00	66.84	0.01677	0.00594	22.07	0.35
3.50	79.40	0.01917	0.00690	25.28	0.36
4.00	90.45	0.02156	0.00781	28.42	0.36
4.50	101.60	0.02396	0.00891	31.41	0.37
5.00	112.30	0.02635	0.00982	34.31	0.37
5.50	122.50	0.02875	0.01073	37.09	0.37
6.00	132.40	0.03115	0.01164	39.76	0.37
6.50	144.00	0.03354	0.01284	42.28	0.38
7.00	150.80	0.03594	0.01356	44.71	0.38
7.50	159.40	0.03833	0.01442	47.02	0.38
8.00	167.80	0.04073	0.01543	49.19	0.38
8.50	175.60	0.04313	0.01634	51.30	0.38
9.00	182.00	0.04552	0.01725	53.29	0.38
9.50	189.90	0.04792	0.01821	55.14	0.38
10.00	196.50	0.05031	0.01902	56.93	0.38
10.50	202.70	0.05271	0.02003	58.62	0.38

Facultad de Ingeniería



Tiempo (mm)	Carga (N)	Deformación axial (mm/mm)	Deformación lateral (mm/mm)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
11.00	208.80	0.05511	0.02084	60.14	0.38
11.50	214.30	0.05750	0.02166	61.65	0.38
12.00	218.40	0.05753	0.02247	61.67	0.39

Resultados gráficos

La Figura 4, presenta las curvas esfuerzo deformación axial y lateral de la muestra ECDG-M2-E1. Al igual que en la Figura 3, es posible observar que la deformación lateral es al menos la mitad de la deformación axial.

El máximo esfuerzo de compresión alcanzado para 13 mm de desplazamiento fue de 61.70 kPa, la deformación axial para esta tensión fue de 5.8% y la deformación lateral asociada fue de 2.2%.

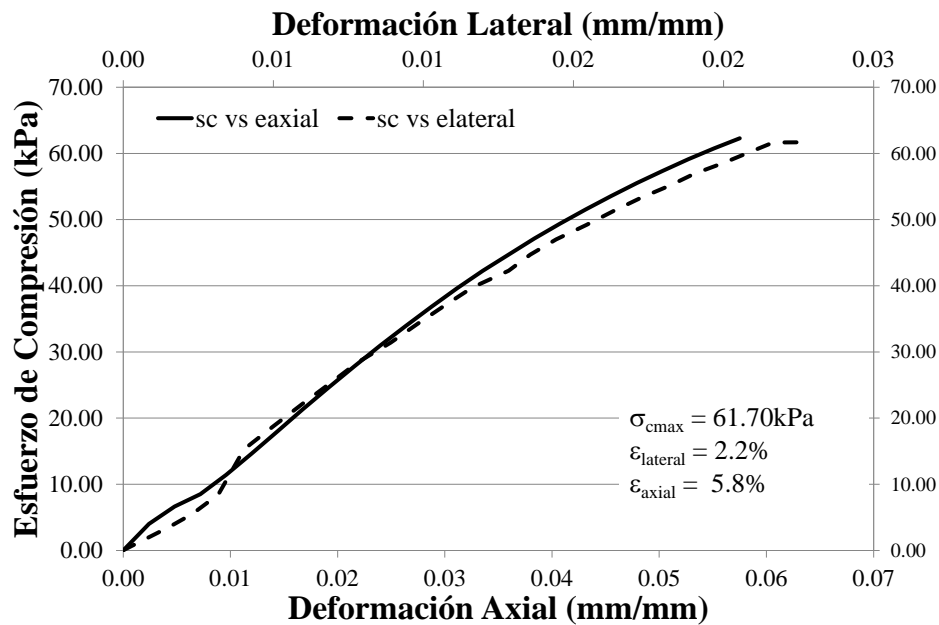


Figura 4. Curvas Esfuerzo vs. Deformación, muestra ECDG-M2-E1



Identificación de la muestra: ECDG-M3-E1

Tabla 5. Datos de la muestra M3

	1	2	3	4	Media
Altura (mm)	102.20	102.05	102.05	102.05	102.09
Diámetro exterior (mm)	209.10	208.25	208.27	207.95	208.39
Diámetro interior (mm)	203.60	202.95	202.95	202.4	202.98
Espesor (mm)	5.50	5.30	5.35	5.65	5.45
Peso (g)	258.20				258.20
Área	36.60				36.60

Tabla 6. Datos del ensayo

Tiempo (mm)	Carga (N)	Deformación axial (mm/mm)	Deformación lateral (mm/mm)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.01	
0.50	12.48	0.00246	0.00072	3.51	0.29
1.00	19.70	0.00493	0.00197	5.53	0.40
1.50	27.71	0.00739	0.00278	7.74	0.38
2.00	36.26	0.00985	0.00346	10.16	0.35
2.50	47.52	0.01232	0.00427	13.29	0.35
3.00	59.44	0.01478	0.00504	16.62	0.34
3.50	71.24	0.01724	0.00585	19.95	0.34
4.00	82.80	0.01971	0.00657	23.21	0.33
4.50	93.41	0.02217	0.00753	26.37	0.34
5.00	105.20	0.02463	0.00845	29.49	0.34
5.50	116.70	0.02710	0.00941	32.5	0.35
6.00	126.60	0.02956	0.01027	35.39	0.35
6.50	136.30	0.03202	0.01113	38.21	0.35
7.00	145.70	0.03449	0.01195	40.89	0.35
7.50	154.80	0.03695	0.01281	43.51	0.35
8.00	165.30	0.03941	0.01387	45.96	0.35
8.50	172.10	0.04188	0.01454	48.34	0.35
9.00	180.20	0.04434	0.01540	50.58	0.35
9.50	188.00	0.04680	0.01632	52.7	0.35
10.00	194.90	0.04927	0.01708	54.74	0.35
10.50	201.50	0.05173	0.01780	56.64	0.34

Facultad de Ingeniería



Tiempo (mm)	Carga (N)	Deformación axial (mm/mm)	Deformación lateral (mm/mm)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
11.00	208.10	0.05419	0.01862	58.46	0.34
11.50	214.20	0.05666	0.01939	60.17	0.34
12.00	219.90	0.05914	0.02006	61.77	0.34

Resultados gráficos

La Figura 5, presenta las curvas esfuerzo deformación axial y lateral de la muestra ECDG-M3-E1. Al igual que en las Figura 3 y 5, es posible observar que la deformación lateral es inferior a la deformación axial.

El máximo esfuerzo de compresión alcanzado para 13 mm de desplazamiento fue de 61.80 kPa, la deformación axial para esta tensión fue de 5.9% y la deformación lateral asociada fue de 2.0%.

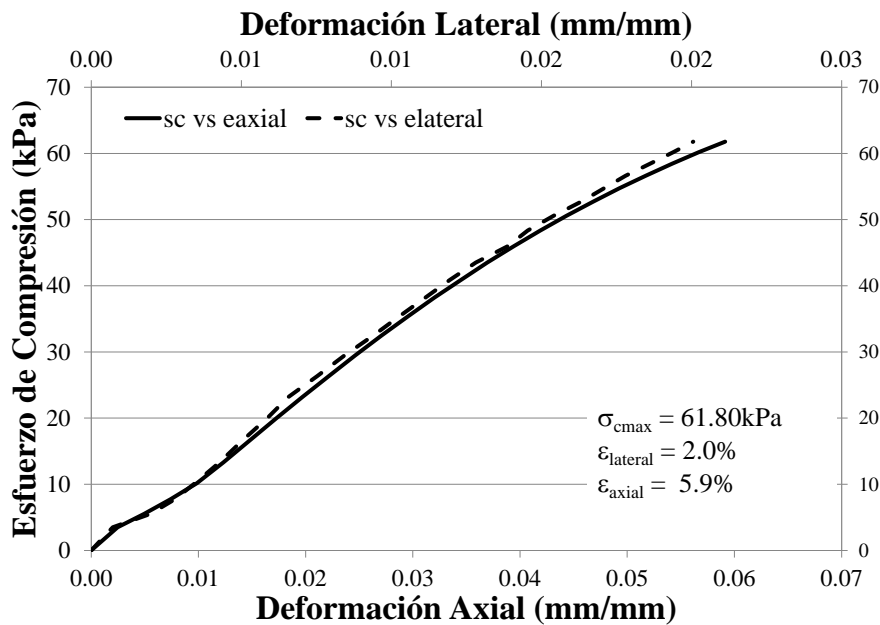


Figura 5. Curvas Esfuerzo vs. Deformación, muestra ECDG-M3-E1



Identificación de la muestra: ECDG-M4-E1

Tabla 7. Datos de la muestra M4

	1	2	3	4	Media
Altura (mm)	102.00	101.90	102.10	102.45	102.11
Diámetro exterior (mm)	209.75	207.60	208.90	207.65	208.48
Diámetro interior (mm)	204.30	202.30	203.50	202.15	203.06
Espesor (mm)	5.45	5.30	5.40	5.5	5.41
Peso (g)	257.60				257.60
Área	36.60				36.60

Tabla 8. Datos del ensayo

Tiempo (mm)	Carga (N)	Deformación axial (mm/mm)	Deformación lateral (mm/mm)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.02	
0.50	12.40	0.00240	0.00086	3.55	0.36
1.00	21.63	0.00479	0.00153	5.52	0.32
1.50	29.97	0.00719	0.00221	8.43	0.31
2.00	40.02	0.00958	0.00288	11.86	0.30
2.50	51.73	0.01198	0.00374	15.29	0.31
3.00	63.53	0.01438	0.00465	18.72	0.32
3.50	75.16	0.01677	0.00561	22.07	0.33
4.00	86.31	0.01917	0.00662	25.28	0.35
4.50	97.37	0.02156	0.00753	28.42	0.35
5.00	109.40	0.02396	0.00863	31.41	0.36
5.50	118.10	0.02635	0.00959	34.31	0.36
6.00	129.20	0.02875	0.01060	37.09	0.37
6.50	139.00	0.03115	0.01161	39.76	0.37
7.00	148.40	0.03354	0.01262	42.28	0.38
7.50	157.30	0.03594	0.01357	44.71	0.38
8.00	165.50	0.03833	0.01444	47.02	0.38
8.50	175.30	0.04073	0.01564	49.19	0.38
9.00	183.30	0.04313	0.01664	51.3	0.39
9.50	188.80	0.04552	0.01736	53.29	0.38
10.00	195.70	0.04792	0.01818	55.14	0.38
10.50	202.00	0.05031	0.01900	56.93	0.38

Facultad de Ingeniería



Tiempo (mm)	Carga (N)	Deformación axial (mm/mm)	Deformación lateral (mm/mm)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
11.00	208.70	0.05031	0.01995	56.93	0.40
11.50	214.70	0.05271	0.02077	58.62	0.39
12.00	220.00	0.05911	0.02149	61.81	0.36

Resultados gráficos

La Figura 6, presenta las curvas esfuerzo deformación axial y lateral de la muestra ECDG-M4-E1. Al igual que en las Figura 3 y 5, es posible observar que la deformación lateral es inferior a la deformación axial.

El máximo esfuerzo de compresión alcanzado para 13 mm de desplazamiento fue de 61.80 kPa, la deformación axial para esta tensión fue de 5.9% y la deformación lateral asociada fue de 2.1%.

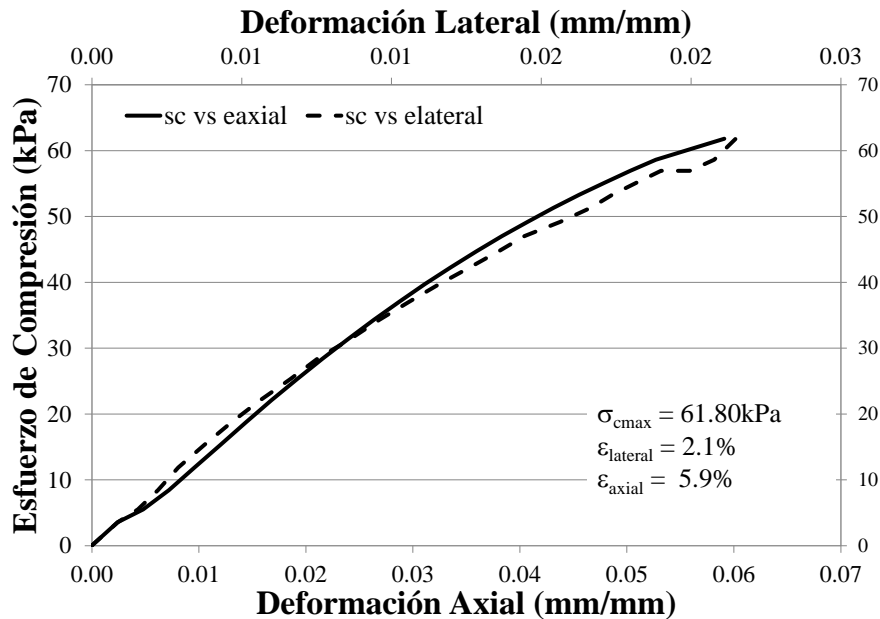


Figura 6. Curvas Esfuerzo vs. Deformación, muestra ECDG-M4-E1



De forma general, todas las muestras correspondientes a la referencia en análisis, tenían medidas similares a las proporcionadas por el cliente. El comportamiento de las mismas frente a los ensayos de compresión diametral fue homogéneo como se observa en la Figura 7, donde sólo la muestra M3, tuvo un comportamiento diferente, cuando fue sometida a las condiciones de carga del ensayo.

El esfuerzo por compresión diametral alcanzado por los especímenes fue en promedio de 61.9 kPa, que equivale a 0.63 kgf/cm². La deformación volumétrica medida a través del coeficiente de Poisson, alcanzó en promedio un valor de 0.38, este indica que el volumen del tubo varía poco cuando es sometido a cargas diametrales. De forma general, la deformación axial, es decir en la dirección de aplicación de la carga, fue significativamente mayor que la deformación en la cara lateral del tubo. En la Tabla 9, se presentan los valores obtenidos para cada uno de los ensayos referidos.

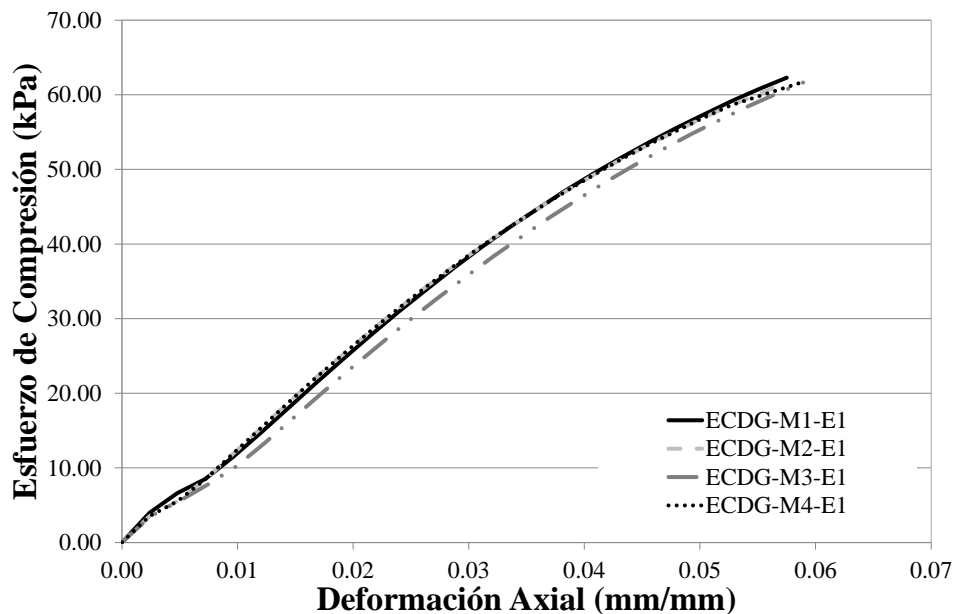


Figura 7. Curvas Esfuerzo por compresión diametral vs. deformación axial para las muestras ECDG 1 a 4.



Tabla 9. Resumen de resultados de compresión diametral para la referencia 101.6 X 203.2 X 5

Ensayo N°	Identificación de la muestra	Deformación axial (%)	Deformación lateral (%)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
1	ECDG-M1-E1	5.8	2.4	62.3	0.43
2	ECDG-M2-E1	5.8	2.2	61.7	0.39
3	ECDG-M3-E1	5.9	2.0	61.8	0.35
4	ECDG-M4-E1	5.9	2.1	61.8	0.36
Media		5.83	2.19	61.89	0.38
Desviación Estándar		0.09	0.15	0.28	0.04

COMPRESIÓN DIAMETRAL SOBRE MUESTRAS DE LA REFERENCIA 76.2 X 152.4 X 4

Los ensayos de compresión diametral se desarrollaron aplicando una carga de compresión a una velocidad de 1.0 mm/min. El desplazamiento generado sobre la muestra tubular fue de 13 mm. A continuación se presentan los datos obtenidos mediante los ensayos aplicados sobre cuatro muestras de la referencia citada.

Identificación de la muestra: ECD-M2-E2

Tabla 10. Datos de la muestra M2

	1	2	3	Media
Altura (mm)	78.45	78.45	78.60	78.50
Díámetro exterior (mm)	160.90	160.40	161.00	160.77
Díámetro interior (mm)	152.15	152.00	152.35	152.17
Espesor (mm)	4.50	4.90	4.70	4.70
Peso (g)	126.10			126.10
Área (cm²)	22.60			22.60



Tabla 11. Datos del ensayo

Tiempo (mm)	Carga (N)	Deformación axial (mm/mm)	Deformación lateral (mm/mm)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00	
0.50	13.49	0.00311	0.00081	5.97	0.26
1.00	22.18	0.00621	0.00131	9.82	0.21
1.50	28.75	0.00932	0.00193	12.72	0.21
2.00	38.88	0.01242	0.00330	17.2	0.27
2.50	50.21	0.01553	0.00510	22.22	0.33
3.00	61.30	0.01864	0.00678	27.12	0.36
3.50	72.30	0.02174	0.00834	31.99	0.38
4.00	82.49	0.02485	0.00983	36.5	0.40
4.50	91.92	0.02795	0.01126	40.67	0.40
5.00	98.92	0.03106	0.01244	43.77	0.40
5.50	103.76	0.03417	0.01368	45.91	0.40
6.00	108.78	0.03727	0.01499	48.14	0.40
6.50	112.81	0.04038	0.01623	49.92	0.40
7.00	112.20	0.04245	0.01729	49.65	0.41
7.50	112.99	0.04555	0.01841	50	0.40
8.00	114.06	0.04866	0.01959	50.47	0.40
8.50	117.04	0.05177	0.02071	51.79	0.40
9.00	119.03	0.05487	0.02196	52.67	0.40
9.50	120.89	0.05798	0.02295	53.49	0.40
10.00	122.30	0.06108	0.02420	54.12	0.40
10.50	122.86	0.06419	0.02507	54.37	0.39
11.00	123.48	0.06730	0.02606	54.64	0.39
11.50	125.16	0.07040	0.02724	55.38	0.39
12.00	126.00	0.07351	0.02805	55.75	0.38

Resultados gráficos

La Figura 8, presenta las curvas esfuerzo deformación axial y lateral de la muestra ECD-M2-E2. Al igual que en las muestras de mayor diámetro, la deformación axial supera ampliamente la deformación lateral. Es evidente además que la muestra sufre una ruptura y que posterior a esta el

Facultad de Ingeniería



material continúa su proceso de deformación, pero su resistencia sigue aumentando. Esto se debe a que los tubos están fabricados con fibras entrelazadas las cuales pueden romperse a diferentes niveles de tensión, sin provocar ruptura súbita del material, pero deformándolo permanentemente.

El máximo esfuerzo de compresión alcanzado para 13 mm de desplazamiento fue de 55.8 kPa, sin embargo la ruptura parcial de la muestra se observó en 50 kPa. Las deformaciones axial y lateral que se reportan en el gráfico corresponden a 7.4% y 2.8% respectivamente, siendo las alcanzadas en el esfuerzo máximo reportado.

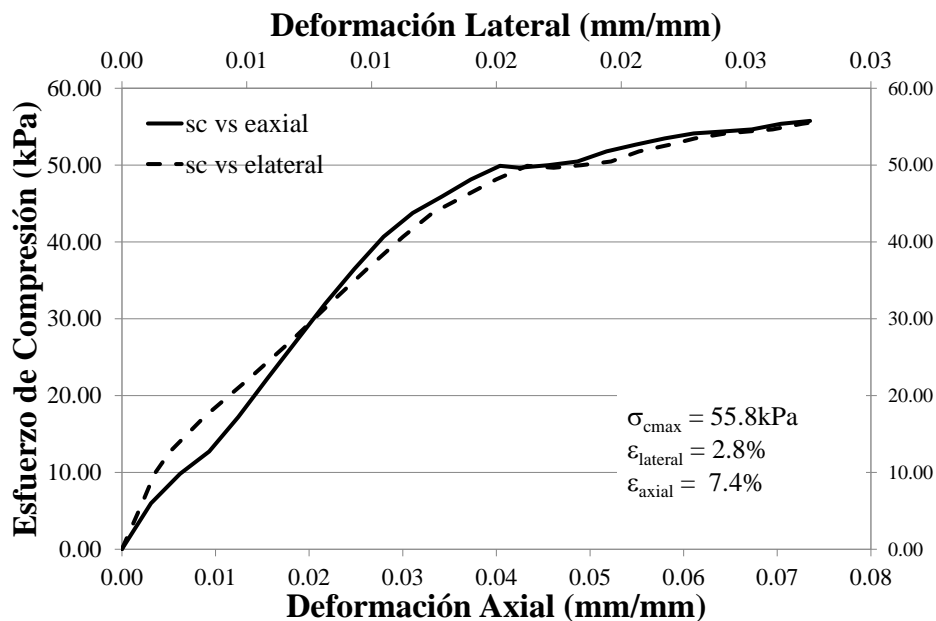


Figura 8. Curvas Esfuerzo vs. Deformación, muestra ECD-M2-E2



Identificación de la muestra: ECD-M3-E2

Tabla 12. Datos de la muestra M3

	1	2	3	4	Media
Altura (mm)	78.40	78.40	78.60	78.6	78.50
Diámetro exterior (mm)	161.20	160.55	160.55	161.6	160.98
Diámetro interior (mm)	150.80	152.30	151.65	152.25	151.75
Espesor (mm)	4.80	4.60	4.60	4.7	4.68
Peso (g)	127.30				127.30
Área (cm ²)	22.60				22.60

Tabla 13. Datos del ensayo

Tiempo (mm)	Carga (N)	Deformación axial (mm/mm)	Deformación lateral (mm/mm)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
0.00	0.0	0.00000	0.00000	0.0	
0.50	12.8	0.00311	0.00186	5.7	0.60
1.00	21.9	0.00621	0.00398	9.7	0.64
1.50	30.0	0.00932	0.00522	13.3	0.56
2.00	30.0	0.00932	0.00621	13.3	0.67
2.50	40.4	0.01242	0.00758	17.9	0.61
3.00	51.4	0.01553	0.00895	22.8	0.58
3.50	62.7	0.01864	0.01025	27.7	0.55
4.00	73.4	0.02174	0.01143	32.5	0.53
4.50	81.1	0.02485	0.01280	35.9	0.51
5.00	89.4	0.02795	0.01392	39.6	0.50
5.50	97.6	0.03106	0.01522	43.2	0.49
6.00	104.4	0.03417	0.01652	46.2	0.48
6.50	110.8	0.03727	0.01783	49.0	0.48
7.00	115.9	0.04038	0.01913	51.3	0.47
7.50	119.8	0.04348	0.02081	53.0	0.48
8.00	121.1	0.04659	0.02205	53.6	0.47
8.50	123.8	0.04970	0.02336	54.8	0.47
9.00	123.7	0.05280	0.02429	54.8	0.46
9.50	123.6	0.05591	0.02547	54.7	0.46
10.00	122.6	0.05901	0.02653	54.2	0.45
10.50	125.9	0.06212	0.02771	55.7	0.45

Facultad de Ingeniería



Tiempo (mm)	Carga (N)	Deformación axial (mm/mm)	Deformación lateral (mm/mm)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
11.00	128.6	0.06523	0.02889	56.9	0.44
11.50	131.3	0.06833	0.02982	58.1	0.44
12.00	133.7	0.07144	0.03050	59.2	0.43

Resultados gráficos

La Figura 9, presenta las curvas esfuerzo deformación axial y lateral de la muestra ECD-M3-E2. Al igual que en la Figura 8, es posible observar que la deformación lateral es menor que la deformación axial, como fue mencionado en los ensayos anteriores.

El máximo esfuerzo de compresión alcanzado para 13 mm de desplazamiento fue de 59.2 kPa, la deformación axial para esta tensión fue de 7.1% y la deformación lateral asociada fue de 3.1%. En la curva se evidencia que hay una ruptura del material, a los 55 kPa aproximadamente, sin embargo las fibras que componen el tubo, permiten que este continúe cargando hasta la tensión máxima reportada.

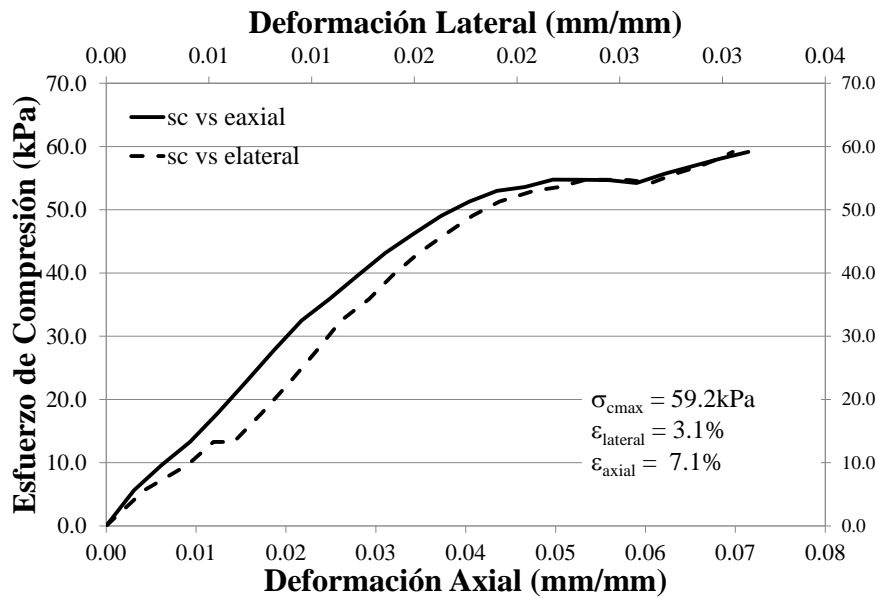


Figura 9. Curvas Esfuerzo vs. Deformación, muestra ECD-M3-E2



Identificación de la muestra: ECD-M4-E2

Tabla 14. Datos de la muestra M4

	1	2	3	4	Media
Altura (mm)	78.50	78.45	78.55	78.35	78.46
Diámetro exterior (mm)	161.15	160.80	161.05	160.9	160.98
Diámetro interior (mm)	151.70	151.80	152.00	151.85	151.84
Espesor (mm)	5.00	4.95	5.05	4.95	4.99
Peso (g)	126.10				126.10
Área (cm²)	22.60				22.60

Tabla 15. Datos del ensayo

Tiempo (mm)	Carga (N)	Deformación axial (mm/mm)	Deformación lateral (mm/mm)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
0.00	-0.1	0.00000	0.00000	0.0	
0.50	11.3	0.00311	0.00155	5.0	0.50
1.00	19.2	0.00621	0.00255	8.5	0.41
1.50	29.4	0.00932	0.00373	13.0	0.40
2.00	40.9	0.01243	0.00491	18.1	0.39
2.50	52.6	0.01553	0.00621	23.3	0.40
3.00	63.5	0.01864	0.00764	28.1	0.41
3.50	73.8	0.02175	0.00901	32.7	0.41
4.00	81.3	0.02485	0.01019	36.0	0.41
4.50	89.6	0.02796	0.01137	39.6	0.41
5.00	95.7	0.03106	0.01249	42.4	0.40
5.50	101.6	0.03417	0.01379	44.9	0.40
6.00	106.8	0.03728	0.01503	47.3	0.40
6.50	111.1	0.04038	0.01615	49.2	0.40
7.00	115.7	0.04349	0.01739	51.2	0.40
7.50	118.5	0.04660	0.01857	52.4	0.40
8.00	120.0	0.04970	0.01957	53.1	0.39
8.50	118.2	0.05281	0.02056	52.3	0.39
9.00	119.5	0.05592	0.02149	52.9	0.38
9.50	121.7	0.05902	0.02267	53.9	0.38
10.00	121.7	0.05902	0.02379	53.9	0.40
10.50	124.6	0.06213	0.02485	55.1	0.40

Facultad de Ingeniería



Tiempo (mm)	Carga (N)	Deformación axial (mm/mm)	Deformación lateral (mm/mm)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
11.00	126.6	0.06524	0.02597	56.0	0.40
11.50	128.8	0.06834	0.02702	57.0	0.40
12.00	130.5	0.07145	0.02764	57.7	0.39

Resultados gráficos

La Figura 10, presenta las curvas esfuerzo deformación axial y lateral de la muestra ECD-M4-E2. Al igual que en los dos ensayos anteriores efectuados sobre la misma referencia, es posible observar que la deformación lateral es inferior a la deformación axial.

El máximo esfuerzo de compresión alcanzado para 13 mm de desplazamiento fue de 57.70 kPa, la deformación axial para esta tensión fue de 7.1% y la deformación lateral asociada fue de 2.8%, la ruptura del cilindro se presentó en aproximadamente 53.0 kPa, pero la interacción entre las fibras del tubo, permiten que el material resista un poco más, llegando a la tensión máxima reportada.

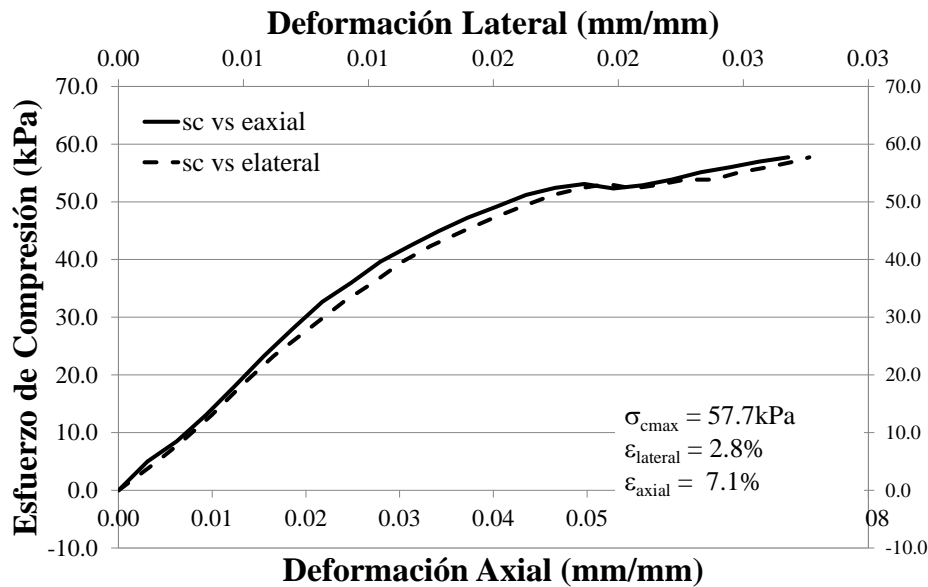


Figura 10. Curvas Esfuerzo vs. Deformación, muestra ECD-M4-E2

Facultad de Ingeniería



Identificación de la muestra: ECD-M5-E2

Tabla 16. Datos de la muestra M5

	1	2	3	4	Media
Altura (mm)	78.65	78.35	78.65	78.65	78.58
Diámetro exterior (mm)	160.75	160.20	161.30	160.7	160.74
Diámetro interior (mm)	152.05	151.65	152.15	152.45	152.08
Espesor (mm)	5.30	4.90	5.91	5.75	5.47
Peso (g)	126.10				126.10
Área (cm ²)	22.60				22.60

Tabla 17. Datos del ensayo

Tiempo (mm)	Carga (N)	Deformación axial (mm/mm)	Deformación lateral (mm/mm)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
0.00	0.0	0.00000	0.00000	0.0	
0.50	12.7	0.00311	0.00199	5.0	0.64
1.00	23.1	0.00622	0.00355	8.5	0.57
1.50	29.7	0.00933	0.00454	13.0	0.49
2.00	41.5	0.01244	0.00579	18.1	0.47
2.50	53.2	0.01555	0.00697	23.3	0.45
3.00	65.0	0.01866	0.00827	28.1	0.44
3.50	75.8	0.02177	0.00971	32.7	0.45
4.00	85.4	0.02488	0.01070	36.0	0.43
4.50	93.9	0.02800	0.01201	39.6	0.43
5.00	100.9	0.03111	0.01325	42.4	0.43
5.50	108.2	0.03422	0.01450	44.9	0.42
6.00	113.1	0.03733	0.01555	47.3	0.42
6.50	114.4	0.04044	0.01630	49.2	0.40
7.00	116.4	0.04355	0.01779	51.2	0.41
7.50	117.1	0.04666	0.01879	52.4	0.40
8.00	115.9	0.04977	0.01991	53.1	0.40
8.50	117.6	0.05288	0.02072	52.3	0.39
9.00	119.3	0.05599	0.02171	52.9	0.39
9.50	117.1	0.05910	0.02258	53.9	0.38
10.00	117.1	0.05910	0.02352	53.9	0.40
10.50	120.3	0.06221	0.02445	55.1	0.39

Facultad de Ingeniería



Tiempo (mm)	Carga (N)	Deformación axial (mm/mm)	Deformación lateral (mm/mm)	Esfuerzo de compresión (kPa)	Coefficiente de Poisson
11.00	123.4	0.06532	0.02520	56.0	0.39
11.50	126.0	0.06843	0.02613	57.0	0.38
12.00	128.0	0.07154	0.02688	57.7	0.38

Resultados gráficos

La Figura 11, presenta las curvas esfuerzo deformación axial y lateral de la muestra ECD-M5-E2. El máximo esfuerzo de compresión alcanzado para 13 mm de desplazamiento fue de 57.7 kPa, la deformación axial para esta tensión fue de 7.2% y la deformación lateral asociada fue de 2.7%. En los ensayos efectuados, se evidenció la ruptura del material en aproximadamente 52.4 kPa.

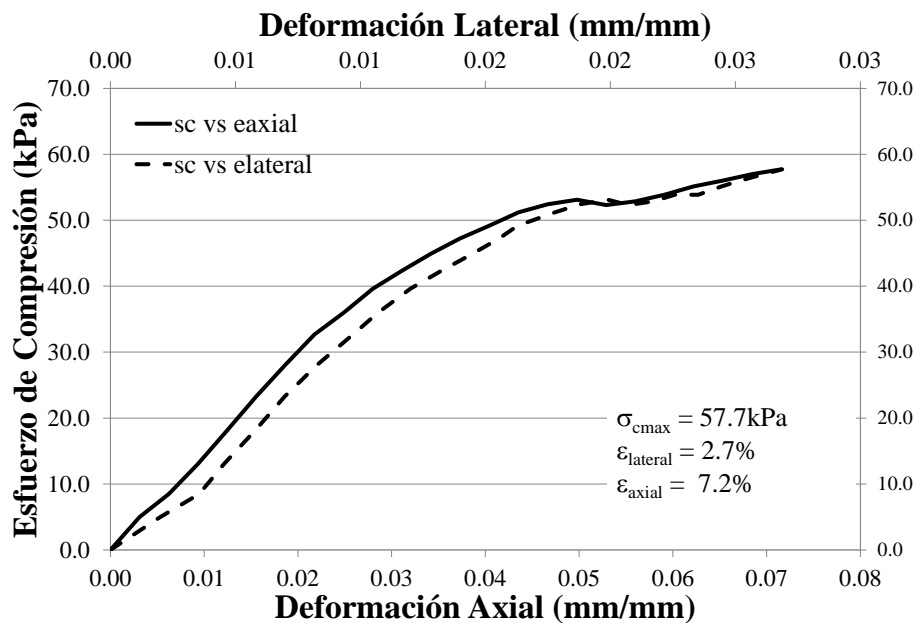


Figura 11. Curvas Esfuerzo vs. Deformación, muestra ECD-M5-E2

De forma general, todas las muestras correspondientes a la referencia 76.2x152.4x4 en análisis, tenían medidas similares a las proporcionadas por el cliente. El comportamiento de las mismas frente a los ensayos de compresión diametral fue homogéneo como se observa en la Figura 12. La

Facultad de Ingeniería



muestra ECD-M3-E2, presentó un comportamiento diferenciado, debido a que la ruptura del tubo se presentó en 55 kPa, alcanzando una deformación axial de aproximadamente 5.0%. Sin embargo la deformación máxima de la muestra fue de 7.1%, correspondiente a un esfuerzo máximo de 57.7 kPa. Es de aclarar que la diferencia entre el comportamiento entre esta muestra y las otras tres no es significativo puesto que los valores de resistencia a la compresión son prácticamente iguales.

El esfuerzo por compresión diametral máximo alcanzado por los especímenes fue en promedio de 58 kPa, que equivale a 0.58 kgf/cm². La deformación volumétrica medida a través del coeficiente de Poisson, alcanzó en promedio un valor de 0.43, este indica que el volumen del tubo varía poco cuando es sometido a cargas diametrales. De forma general, la deformación axial, es decir en la dirección de aplicación de la carga, fue significativamente mayor que la deformación en la cara lateral del tubo. En la Tabla 18, se presentan los valores obtenidos para cada uno de los ensayos referidos.

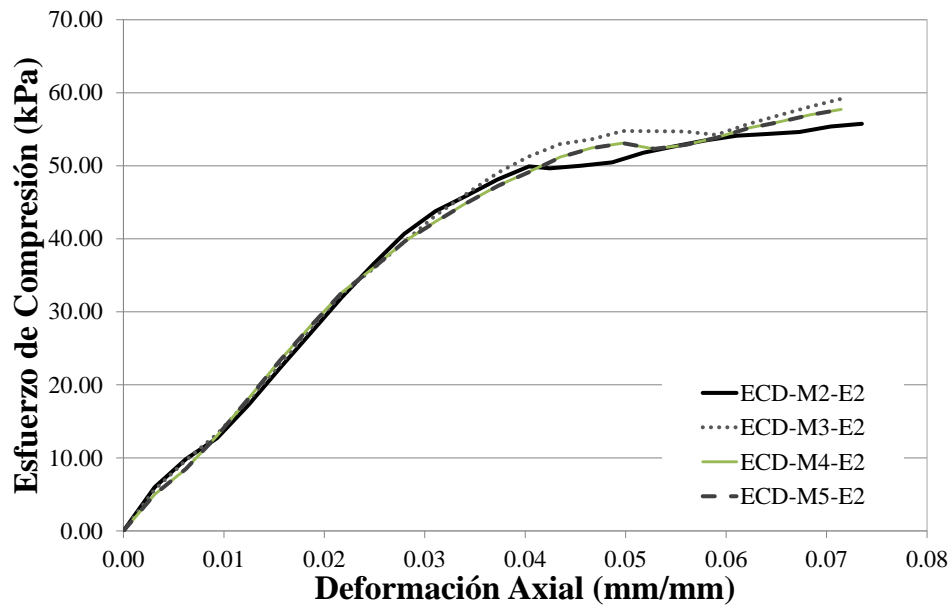


Figura 12. Curvas Esfuerzo por compresión diametral vs. deformación axial para las muestras ECDG 2 a 5.



Tabla 18. Resumen de resultados de compresión diametral para la referencia 76.2x152.4x4.

Ensayo N°	Identificación de la muestra	Deformación axial máxima (%)	Deformación lateral máxima (%)	Esfuerzo de compresión máximo (kPa)	Deformación axial en la falla (%)	Deformación lateral en la falla (%)	Esfuerzo de compresión en la falla (kPa)	Coefficiente de Poisson
1	ECD-M2-E2	7.4	2.8	55.8	4.6	1.8	50.0	0.37
2	ECD-M3-E2	7.1	3.1	59.2	5.0	2.3	54.8	0.51
3	ECD-M4-E2	7.1	2.8	57.7	5.0	2.0	53.1	0.40
4	ECD-M5-E2	7.2	2.7	57.7	5.0	2.0	53.1	0.43
Media		7.2	2.8	57.6	4.9	2.0	52.7	0.43
Desviación Estándar		0.10	0.16	1.40	0.21	0.21	1.99	0.06

CONCLUSIÓN DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAMETRAL

De forma general se puede concluir que los tubos ensayados, tienen un comportamiento homogéneo, resisten bien la compresión diametral y su deformación volumétrica es pequeña. Las fibras del material son resistentes y lo proveen de una resistencia residual, permitiendo que el tubo no se rompa súbitamente.