

ESTRATEGIA DE RECONOCIMIENTO Y APLICACIÓN DE LOS MATERIALES LOCALES DE CONSTRUCCIÓN. ESTUDIO DEL CANTO DE LA CANTERA DE CABEZAS.

Ing. Yasmany Rolo Hereira¹, Ing. Ismary García Bólero¹, Ing. Reynol Ulloa Román².

- 1. Empresa de Construcción y Montaje de Matanzas. UEB
Prefabricado Jovellanos, Jovellanos, Matanzas.*
- 2. Universidad de Matanzas, Vía Blanca km. 3 ½, Matanzas, Cuba.*
- 3. Empresa de Construcción y Montaje de Matanzas. Dirección,
Matanzas.*

Resumen.

El presente trabajo estudia el comportamiento del canto de la cantera de Cabezas situada en el poblado del mismo nombre, perteneciente al municipio de Unión de Reyes, ante los esfuerzos de compresión y flexión, dando a conocer posibles usos de este material en la construcción. Para ello se reunió todo el conocimiento tácito posible sobre el tema, llegando finalmente a obtener las dimensiones recomendables como para que el canto de dicha cantera tenga una resistencia a compresión adecuada para ser empleado como elemento principal para levantar muros de cargas y una resistencia a flexión tal que permita su uso como elemento principal en la construcción de cubiertas.

Palabras claves: canto, dimensionamiento, muros de cargas y cubierta, resistencia a compresión y flexión.

1. Introducción

La explotación de las canteras a nivel industrial es iniciada en Egipto, los cuales alcanzan gran desarrollo en el oficio, continuado por las culturas griegas y romanas en las que la piedra natural adquiere una gran importancia.

En Cuba el uso de la piedra de cantería se conoce desde inicio de las construcciones por parte de los colonizadores españoles. Dicho uso como material de construcción ha permanecido hasta nuestros días, incrementándose en los últimos años, debido a factores ligados al precio de los bloques de hormigón como elementos para paredes y a su disponibilidad.

Se utilizan desde la antigüedad a nivel mundial con fines estéticos, pero en nuestro país se utilizan desde la época colonial de forma empírica, como elemento estructural en cimientos, muros y losas de cubierta.

Sin embargo un uso tan extendido ha adolecido de un estudio técnico de sus características, físicas, químicas, geométricas y mecánicas.

2. Ubicación y caracterización de la cantera en estudio.

La cantera constituye la más espaciosa zona de explotación de esta parte de la provincia. Ocupa una considerable área únicamente dedicada a la explotación y todo parece indicar que puede ser ampliada lateralmente.

La roca que la compone presenta características areno-limosas siendo primordialmente calcítica su fracción fina. En los cortes más profundos se puede apreciar la pasividad del material, y aunque existen en su masa inclusiones y vetas endurecidas, estas no son muy abundantes ni obstaculizan la explotación (Paz Morales, 2009).

Las etapas por las que pasa una roca, desde el yacimiento en que se encuentra en la naturaleza, hasta que se puede contemplar en una construcción, constituyen todo un proceso productivo que, en esencia, abarca las fases de extracción en cantera, corte y dimensionado de piezas, a las que se podría añadir la comercialización y colocación; esto estrechamente unido al conocimiento de las propiedades y características de la roca.

Los cantos son rocas sedimentarias del tipo margosa, obteniéndose en Cuba de forma manual, utilizando coa y cerrote o utilizando un pico.

Además se conoce que: el material tiene una densidad seca de 13.39 kg/m³, una absorción de agua del 25%; y una resistencia a compresión horizontal de 12 kg/cm² y vertical de 13 kg/cm². Como este estudio consta de más de 30 años y no todas las capas del material tienen la misma resistencia, densidad y por consiguiente absorción de agua. Atendiendo a entrevistas realizadas a trabajadores de experiencia en la cantera, se llegó a la conclusión que:

La dureza del material puede ir ligada de forma directamente proporcional a la profundidad a la cual se esté extrayendo el material y muy ligado a la humedad que tenga el lugar, e incluso podría variar aunque con menor probabilidad con el lugar de la cantera en que se encuentre la explotación, por lo que se considera que deba ser necesario un nuevo estudio (que debiera repetirse cada cierto tiempo) para comparar con los resultados ya obtenidos y ver si sus propiedades permiten que sigan siendo utilizados de la misma manera o su uso deba ser restringido en algún sentido.

Una vez conocida la resistencia del material de cantera, no solo se debe tener en cuenta la profundidad a la cual se le realizaron los ensayos de resistencia, sino, el color del material para hacer una estimación de la dureza del mismo.

3. Estudio de la resistencia a compresión.

En el laboratorio para realizar cada uno de los estudios deseados se analizó lo planteado en distintas normas, tomándose finalmente aquellas que según el análisis de expertos en el laboratorio se adecuaban mejor al material a analizar, seleccionándose de esta forma los ensayos pertinentes a acometerle, ya que no existe una norma específica para ensayar el canto.

Para realizar el estudio a compresión de las muestras se siguió lo dictado por la norma cubana (NC-247:2010) en sus epígrafes desde el 6.3.2 hasta el 6.5.18 excluyendo los epígrafes: 6.4.4, 6.5.5 y 6.5.4, debido a que no se ajustan con el material a estudiar.

4. Adecuación de la norma NC 247:2010 al estudio de los cantos. Resultados.

La muestra para ensayo se conservó a temperatura ambiente, bajo techo y en superficie plana, sobre piso de hormigón o similar. Se tuvo cuidado para no golpear ni dejar caer los cantos de la muestra para ensayo.

Cada canto a ensayar se identificó con pintura en sus caras laterales indicándose:

- Número del lote.
- Número consecutivo de cada unidad de la muestra.
- Número de la línea de producción.

Los cantos seleccionados para la muestra cumplían los siguientes requisitos:

- No presentaron grietas visibles en las caras ni descorchados.
- Tuvieron sus caras aparentemente paralelas.
- No le faltaron esquinas.

Se efectuó la medición de cada uno de los cantos de la muestra y se obtuvo el promedio de cada una de sus dimensiones, empleándose, la cinta métrica metálica con valor de división de 1mm.

La dimensión promedio (X) y su desviación (Sx) se calculó por medio de las siguientes expresiones:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{x=1}^n X_i}{n} \qquad S_x = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Donde:

X= dimensión promedio de la muestra (mm).

Xi = dimensión de cada canto (mm).

Sx = desviación típica de las dimensiones de la muestra.

n = tamaño de la muestra (número de cantos que constituyen la muestra).

Los resultados se ofrecieron con una aproximación de 1mm. A cada una de las muestras se le determinaron las dimensiones en cm del ancho, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla1: Ancho de los cantos (cm).

muestra	cara A			cara B		
	medición 1	medición 2	medición 3	medición 1	medición 2	medición 3
1	9.2	9.2	9.2	9.3	9.4	9.4
2	9.4	9.5	9.4	9.4	9.4	9.4
3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3
4	8.6	8.6	8.6	8.9	8.8	8.8
5	8.4	8.6	8.5	8.4	8.5	8.6
6	9.1	9.1	9.1	8.9	8.9	8.9
7	8.9	8.8	9	8.9	8.9	8.9
8	8.4	8.4	8.4	8.2	8.2	8.2

9	8.4	8.3	8.4	8.4	8.4	8.4
10	8.6	8.6	8.7	8.6	8.6	8.6
11	8.8	8.8	8.8	8.7	8.8	8.8
12	8.5	8.5	8.5	8.6	8.5	8.5
13	8.5	8.5	8.5	8.6	8.5	8.4
14	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
15	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
161	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
7	8.7	8.6	8.8	8.7	8.6	8.8
18	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7
19	8.6	8.3	8.3	8.5	8.4	8.3
20	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7
21	8.5	8.5	8.6	8.5	8.5	8.6
22	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
23	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
24	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
25	9	9	9.1	8.9	9	9
26	8.4	8.5	8.5	8.5	8.5	8.6
27	8.6	8.6	8.4	8.6	8.7	8.6
28	8.1	8.1	8.2	8	8.1	8.2
29	8.7	8.8	8.8	8.7	8.8	8.9
30	9	9	8.9	9	9	9.1

Al analizarse los datos recopilados se obtuvo como ancho promedio 8.7cm y una desviación estándar de 0.33 cm.

La **altura** fue medida en cada una de las muestras analizadas, cuyos valores se muestran a continuación:

Tabla2: Altura de los cantos (m).

muestras	altura			
	medición1	medición2	medición3	promedio
1	27.9	27.9	27.9	27.9
2	28.4	28.2	27.8	28.1
3	28.2	28.3	28.7	28.4
4	28.7	29.5	30.5	29.6
5	27.2	28.7	29.1	28.3
6	30.2	30.5	30.7	30.5
7	31.6	31.4	30.3	31.1
8	28.6	28.3	27.8	28.2
9	28.8	28.5	28.2	28.5
10	28.6	28.2	28.3	28.4
11	27.6	28.2	29	28.3
12	27.9	28.3	28.8	28.3

13	29	30	31	30.0
14	28.7	28.1	27.9	28.2
15	27.8	28.2	28.7	28.2
16	27.8	28.7	27.4	28.0
17	29.3	29.8	29.3	29.5
18	28	28.1	28.2	28.1
19	32	31.2	30.1	31.1
20	27.6	27.8	28.2	27.9
21	27.9	28.1	27.9	28.0
22	28.2	27.9	28.4	28.2
23	29.3	29.4	29.4	29.4
24	29.5	29.3	29.5	29.4
25	30.3	30.4	30.2	30.3
26	27.5	27.5	29.7	28.2
27	31.1	31.1	30.9	31.0
28	28.7	28.8	28.8	28.8
29	27.6	27.5	27.6	27.6
30	29	29.1	29.1	29.1

Lo anterior ofreció como resultado una altura promedio de 28.88cm y una desviación estándar de 1.03cm.

La **longitud** de las muestras también fue medida, obteniéndose el siguiente resultado.

Tabla 3: Longitud de los cantos.

muestra	Longitudes			Promedio(m)
	medición1	medición2	medición3	
1	51.6	52.2	52.2	52.0
2	48.6	48.6	48.6	48.6
3	47.9	47.8	47.7	47.8
4	48.3	48.4	48.1	48.3
5	50	50.2	48.3	49.5
6	57.3	58.2	58.2	57.9
7	57.2	57.2	57.2	57.2
8	50.5	50.6	50.4	50.5
9	49	49.6	49.4	49.3
10	48.6	48.8	49	48.8
11	49	49	48.8	48.9
12	49.6	49.6	49.7	49.6
13	50.6	50.6	50.5	50.6
14	50	49.9	49.8	49.9
15	48.6	48.8	49	48.8
16	46.1	46.6	47	46.6
17	49	49	49.1	49.0

18	48.6	48.8	49	48.8
19	50.9	50.8	50.8	50.8
20	49.6	49.4	49.2	49.4
21	48.5	48.9	48.9	48.8
22	49.6	49.8	49.5	49.6
23	48.3	48.2	48	48.2
24	50.1	50.1	49.8	50.0
25	47.8	48	47.9	47.9
26	48.6	48.8	48.8	48.7
27	49.5	49.5	49.7	49.6
28	48.3	48.6	48.7	48.5
29	49.1	49.3	49.5	49.3
30	50.4	50.3	50.3	50.3

Lo anterior ofreció como resultado una altura promedio de 49.78cm y una desviación estándar de 2.28 cm.

Para determinar el valor de la **resistencia media a la compresión** de los cantos, cada canto que constituye la muestra de ensayo fue sometido a una carga de compresión hasta la rotura determinándose la resistencia a la compresión promedio.

La **resistencia a la compresión** de cada canto (R_i) se calculó por medio de la siguiente expresión:

$$R_i = \frac{F_j}{a_j}$$

Donde:

R_i = resistencia a la compresión de cada canto (MPa)

F_j = carga de rotura

a_j = área de la sección bruta del canto.

Al aplicar la expresión a la muestra se obtuvo que:

Tabla 4: resistencia a compresión de los cantos.

muestra	área superior(cm2)	tensión(kN)	resistencia a compresión(MPa)
1	482,73	75	1,5536528
2	457,65	75	1,6388069
3	396,74	125	3,1506780
4	420,72	85	2,0203247
5	420,75	90	2,1390374
6	521,10	85	1,6311648

7	509,08	105	2,0625442
8	419,15	65	1,5507575
9	413,58	135	3,2641986
10	420,49	130	3,0916067
11	429,80	140	3,2573458
12	422,71	90	2,1291165
13	429,82	85	1,9775873
14	424,15	160	3,7722504
15	419,68	165	3,9315669
16	395,82	175	4,4212388
17	426,59	85	1,9925455
18	424,56	130	3,0619936
19	427,00	60	1,4051522
20	429,78	110	2,5594490
21	416,14	85	2,0425709
22	426,85	110	2,5770378
23	394,97	115	2,9116381
24	475,00	105	2,2105263
25	431,10	110	2,5516122
26	414,23	80	1,9312787
27	425,45	63	1,4807947
28	393,93	75	1,9038969
29	433,02	80	1,8474968
30	453,00	80	1,7660044

La **resistencia a la compresión media** (R'_m) se calculó por medio de la siguiente expresión:

$$R'_m = \frac{\sum_{i=1}^n R'_i}{n}$$

Donde:

R'_m = resistencia a la compresión media (MPa)

R_i = resistencia a la compresión de cada canto (MPa)

n = tamaño de la muestra de ensayo.

La aplicación de esta fórmula da como resultado una $R'_m=2.39$ MPa.

La **desviación típica** (SR') de la muestra de ensayo se calculó por la expresión siguiente:

$$SR' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R'_i - R'_m}{n}}$$

Donde:

SR'=valor de la desviación típica (MPa)

R'm= resistencia a la compresión media (MPa)

R'i= resistencia a la compresión de cada canto (MPa)

n= tamaño de la muestra de ensayo

Obteniéndose como resultado de la misma: SR´=0.78Mpa.

El coeficiente de variación se calculó por la expresión siguiente.

$$V = \frac{SR'}{R'_m}$$

Donde:

V = coeficiente de variación (%)

SR' = valor de la desviación típica (MPa)

R'm = resistencia a la compresión media (MPa)

Obteniéndose al aplicar la misma que el coeficiente de variación es de 0.32 %.

Lo resultados se aproximaron hasta 0,01Mpa. A esta muestra no se le demostró su normalidad estadísticamente, ya que 30 es un número de muestras que garantiza la normalidad del conjunto de datos.

La resistencia a compresión característica se obtuvo a partir de la fórmula propuesta en la norma cubana siguiente:

$$R'_{bk} = R'_{bm} (1 - \lambda \cdot \delta)$$

Donde:

R'bk=resistencia característica.

Rm= resistencia media.

λ=coeficiente que depende de la probabilidad deseada y el numero de la muestra.

Al ser treinta el número de la muestra el valor tomado será uno.

δ= coeficiente de variación =V

Obteniéndose una resistencia característica de 1.62 MPa.

5. Estudio del peso específico del canto.

Los datos para realizar este estudio fueron tomados antes de someter los cantos a los esfuerzos de compresión en la prensa. Con las dimensiones promedio se determinó: el área superior y el volumen de cada canto como se muestra.

Tabla 5: volumen de los cantos.

Muestra	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Longitud promedio (cm)	área superior (cm ²)	Volumen (cm ³)
1	9,3	27,9	52	482,73	13468,26
2	9,4	28,1	48,6	457,65	12875,22
3	8,3	28,4	47,8	396,74	11267,42
4	8,7	29,6	48,3	420,72	12439,42
5	8,5	28,3	49,5	420,75	11921,25
6	9	30,5	57,9	521,1	15876,18
7	8,9	31,1	57,2	509,08	15832,39
8	8,3	28,2	50,5	419,15	11834
9	8,4	28,5	49,3	413,58	11786,97
10	8,6	28,4	48,8	420,49	11927,99
11	8,8	28,3	48,9	429,8	12148,95
12	8,5	28,3	49,6	422,71	11976,8
13	8,5	30	50,6	429,82	12894,5
14	8,5	28,2	49,9	424,15	11975,17
15	8,6	28,2	48,8	419,68	11848,97
16	8,5	28	46,6	395,82	11069,67
17	8,7	29,5	49	426,59	12570,19
18	8,7	28,1	48,8	424,56	11930,14
19	8,4	31,1	50,8	427	13279,7
20	8,7	27,9	49,4	429,78	11976,54
21	8,5	28	48,8	416,14	11638,11
22	8,6	28,2	49,6	426,85	12022,85
23	8,2	29,4	48,2	394,97	11598,85
24	9,5	29,4	50	475	13980,83
25	9	30,3	47,9	431,1	13062,33
26	8,5	28,2	48,7	414,23	11695,19
27	8,6	31	49,6	425,45	13203,05
28	8,1	28,8	48,5	393,93	11332,02
29	8,8	27,6	49,3	433,02	11936,87
30	9	29,1	50,3	453	13167,2

Una vez realizadas las mediciones de los cantos fueron pesados y con los volúmenes de cada uno se calculó el peso específico del material como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 6: peso específico de los cantos.

muestra	Volumen(c m3)	peso neto(kg)	peso específico(k g/cm3)
1	13468,26	20	0,0014850
2	12875,22	20	0,0015534
3	11267,42	22,3	0,0019792
4	12439,42	22,1	0,0017766
5	11921,25	19,6	0,0016441
6	15876,18	27	0,0017007
7	15832,39	28	0,0017685
8	11834,00	22	0,0018590
9	11786,97	21	0,0017816
10	11927,99	21	0,0017606
11	12148,95	19	0,0015639
12	11976,80	21	0,0017534
13	12894,50	22,8	0,0017682
14	11975,17	21,4	0,0017870
15	11848,97	23,3	0,0019664
16	11069,67	19,5	0,0017616
17	12570,19	21,3	0,0016945
18	11930,14	19,4	0,0016261
19	13279,70	22	0,0016567
20	11976,54	20,9	0,0017451
21	11638,11	20,5	0,0017615
22	12022,85	21,2	0,0017633
23	11598,85	20,4	0,0017588
24	13980,83	24,6	0,0017596
25	13062,33	23	0,0017608
26	11695,19	20,6	0,0017614
27	13203,05	23,2	0,0017572
28	11332,02	20	0,0017649
29	11936,87	21	0,0017593
30	13167,20	23,2	0,0017620

Este estudio arroja como resultado un peso específico del material de 17.14kN/m3.

6. Estudio del porcentaje de absorción de agua del canto

Para la realización de este estudio se siguió lo planteado en la norma cubana (NC-247:2010).

Los cantos o una sección de estos se sumergieron en agua para determinar su contenido por diferencia de masa expresada en porcentaje.

Los Aparatos, utensilios y medios de medición utilizados fueron:

- Balanza técnica de 50 Kg como mínimo y valor de división de un gramo.
- Estufa con capacidad mínima de temperatura de 150°C y regulación automática.
- Estanque, bandeja o cubeta adecuada para que las muestras queden totalmente sumergidas en agua.
- Paños para secar.
- Parrilla metálica.
- Hacha de albañil.

Se colocaron los cantos, en la estufa, separadas entre sí y se secaron hasta masa constante. Se extrajeron y se dejaron enfriar el tiempo necesario hasta poder manipularlos sin uso de protección. Se realizaron dos o tres pesadas por intervalos de una hora, tomándose el valor de la última pesada como la masa constante.

Una vez concluido este proceso se colocaron los cantos o las porciones dentro del estanque lleno de agua de forma que éste los cubriera totalmente. Se dejaron en reposo sumergidos 24hrs, posteriormente se extrajeron y se dejaron escurrir sobre las parrillas metálicas. El agua superficial se eliminó con un paño húmedo hasta que perdieron el brillo cuidando de no exponerlas al sol durante este proceso por lo que se cubren con paños húmedos conduciéndolas así hasta la balanza, se pesaron, determinándose así la masa húmeda.

La absorción de agua de cada muestra (A_i) se calculó por la fórmula siguiente:

$$A_i = \frac{M_{h_i} - M_{s_i}}{M_{s_i}} \cdot 100$$

Donde:

A_i = absorción de la muestra (%)

M_{h_i} = masa húmeda de cada unidad de la muestra (kg)

Msi=masa seca de cada unidad de la muestra (Kg.).

Al aplicar esta fórmula se obtuvo que:

Tabla 6: % de absorción de agua del canto.

Muestra	Peso saturado(kg)	peso seco(kg)	% de absorción
1	4,5	3,85	16,9
2	7,4	6,3	17,5
3	4,8	4,1	17,1

La absorción promedio (A_m) se calcula por la fórmula siguiente:

$$A_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n}$$

Donde:

A_i = absorción de cada unidad de la muestra de ensayo

(%) A_m = absorción promedio

(%) n = número de cantos de la muestra de ensayo.

La absorción promedio obtenida fue de 17,14 %.

6. Estudio de la resistencia a flexión de los cantos.

Se desarrolló según los requerimientos de la norma (NC-724:2009) en sus epígrafes desde el 4.1 hasta el 4.5 excepto el 4.2.2 ya que el ensayo se realizó con un solo rodillo superior situado al centro de la luz de la probeta y el 4.3.3 relacionado con la valoración del tipo de rotura. Esta norma plantea lo siguiente:

Las muestras para el ensayo son prismas rectos rectangulares elaborados conforme a los requerimientos de la Norma Cubana (NC-221:2002). El ensayo se llevó a cabo empleando una máquina estándar de ensayo a compresión, la misma estuvo calibrada y verificada.

Las muestras se almacenaron en un ambiente adecuado. Las superficies de los platos de la máquina de ensayo estuvieron limpiadas y se removió cualquier resto ó material extraño de las superficies de las muestras que pudiera entrar en contacto con los rodillos.

La muestra fue colocada en la máquina de ensayo correctamente centrada con el eje longitudinal de la misma en ángulo recto con el eje longitudinal de los rodillos inferiores y

superiores. La dirección de aplicación de las cargas fue perpendicular a la dirección de las capas de cantera, para no afectar los resultados.

La carga se aplicó cuando los rodillos estuvieron descansando uniformemente contra la muestra de ensayo, sin cambios bruscos y se aumentó continuamente a una velocidad constante hasta que no pudiera sostener una carga mayor. Se seleccionó una velocidad constante de aplicación de los esfuerzos no menor de 0,04 MPa/s y no mayor que 0,06 MPa/s. En el laboratorio se determinó que la velocidad de aplicación de la carga sería de 0.06MPa/s.

Se chequeó que la velocidad de aplicación de la carga en todo el tiempo que la probeta estuvo ensayándose, se mantuviera constante. Registrándose la carga máxima indicada.

La **Resistencia a flexión** del canto se determina por la ecuación (Medina Torri, y otros, 2008):

$$fcf_y = \frac{F \cdot l_{rol}}{l_h \cdot l_n^2}$$

Donde:

fcfy= Es la resistencia a flexión, expresada en (MPa);

F: Carga máxima, expresada en (N);

lb y lh: Dimensiones laterales (anchura y altura) de la muestra, expresadas en (mm)

lrol: Espaciamiento de los rodillos inferiores, expresado en (mm)

La resistencia a la flexión se expresó al valor 0,1 MPa más cercano.

Al aplicar la expresión anterior se obtuvo que:

Tabla 7: Resistencia a flexión de los cantos.

muestra	tensión(kN)	resistencia a flexión(MPa)
1	7	2,1
2	5	1,5
3	4	1,2
4	4	1,2
5	5	1,5
6	5	1,5
7	5	1,5

Por lo que se estima una resistencia media de la muestra a flexión de 1.5MPa.

La resistencia a la flexión media (f_{cfym}) se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$f_{cfym} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cf_{yi}}}{n}$$

Donde:

f_{cfym} = resistencia a la flexión media (MPa)

$f_{cf_{yi}}$ = resistencia a la flexión de cada canto (MPa)

n = tamaño de la muestra de ensayo.

La aplicación de esta fórmula da como resultado una $f_{cfym}=1.5\text{MPa}$

La desviación típica (SR') de la muestra de ensayo se calcula por la expresión siguiente:

$$SR = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(f_{cf_{yi}} - f_{cf_{ym}})^2}{n}}$$

Donde:

SR' =valor de la desviación típica (MPa)

f_{cfym} = resistencia a la flexión media (MPa)

$f_{cf_{yi}}$ = resistencia a la flexión de cada canto (MPa)

n = tamaño de la muestra de ensayo

Obteniéndose como resultado de la misma: $SR'=0.28\text{MPa}$.

El **coeficiente de variación** se calculó por la expresión siguiente:

$$V = \frac{SR}{f_{cf_{ym}}}$$

Donde:

V = coeficiente de variación (%)

SR' = valor de la desviación típica (MPa)

f_{cfym} = resistencia a la flexión media (MPa)

Obteniéndose al aplicar la misma que el coeficiente de variación es de 0.19%.

La aproximación de los resultados se realizó hasta 0,01MPa.

Se aplicó la fórmula siguiente para obtener la **resistencia a flexión característica**:

$$f_{cf_{yk}} = f_{cf_{ym}}(1 - \lambda \cdot \delta)$$

Donde:

$f_{cf_{yk}}$ =resistencia a flexión característica del canto.

$f_{cf_{ym}}$ =resistencia a flexión media de los cantos.

λ =coeficiente que depende de de la probabilidad deseada y el número de muestras utilizadas.

Al ser utilizadas siete muestras este toma el valor de 1.11 $\delta = V =$ coeficiente de variación.

Obteniéndose como resultado una resistencia a la flexión característica en el canto de 1.18MPa.

Como la muestra es demasiado pequeña y no garantiza la normalidad del conjunto se analizó este parámetro mediante el software Statgraphics y se obtuvo el siguiente resultado:

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para resistencia a la flexión Prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Tabla 7: resultados de la prueba de bondad.

Fuente: programa Statgraphics.

	Normal
DMAS	0,357143
DMENOS	0,214286
DN	0,357143
Valor-P	0,336145

El StatAdvisor: Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si la muestra de resistencia a flexión del canto puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas

realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que los datos provienen de una distribución normal con 95 % de confianza.

8. Dimensiones propuestas para el canto a utilizar.

Aunque los cantos sean irregulares, se comercializan con caras paralelas, lo que facilita su colocación. Estas piezas, que no solamente tienen una misión decorativa o aislante como ocurre en los aplacados, sino que realiza una función estructural o portante; suelen apilarse con unión de mortero para proporcionar al muro una mayor solidez. Para el uso de los cantos en la construcción se proponen las siguientes dimensiones:

Para muros:

Espesor: 10cm

Ancho: 30cm

Longitud: 50cm

Para losas de cubierta:

Espesor: 10cm

Ancho: 35cm

Longitud: 60cm

Para losas de entrepiso:

Espesor: 10cm

Ancho: 35cm

Longitud: 50cm

9. Análisis de las cargas actuantes en losas.

Todas las densidades utilizadas en este trabajo fueron tomadas de la norma cubana (NC-283:2003) las cargas de uso fueron tomadas de la norma cubana (NC-284).

Primeramente se analizaron las cargas actuantes cuando el canto es utilizado como elemento estructural en la losa de cubierta de una vivienda unifamiliar obteniéndose:

Tabla 8: cargas que actuarán sobre la losa de cubierta.

elemento	peso propio	espesor	ancho	factor de mayoración	cargas (kN/m)
canto	17,41kN/m ³	0,1m	0,35	1,2	0,73
hormigón	24kN/m ³	0,07m	0,35	1,2	0,71
impermeabilizante	0,05kN/m ²		0,35	1,2	0,02
carga de uso	0,8kN/m ²		0,35	1,6	0,45

Las cargas a que son sometidas en la estructura los cantos, se obtienen de la multiplicación del peso propio de cada elemento por su espesor, por su ancho y por un factor de mayoración de las cargas; en el caso del impermeabilizante y la carga de uso no aparecen con valores de espesor porque su peso propio está dado en unidades de área. Las cargas de la tabla anterior están en kN/m y para convertirlas en tensiones en unidades de MPa se convierte la carga en momento mediante la fórmula:

$$M = \frac{ql^2}{8}$$

Donde:

q=carga (kN-m)

l=longitud del canto (m)

Después el momento se convierte en tensiones aplicando la fórmula de Navier:

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Donde:

σ=tensiones (MPa)

M=momento (kN-m)
W=módulo de sección.

El módulo de sección se calcula como:

$$W = \frac{I}{b}$$

Donde:

W=módulo de sección
I=momento de inercia de la sección
b= brazo de la sección.

El **momento de inercia de la sección** se calcula de la siguiente manera:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Donde:

I=momento de inercia de la sección.
b=ancho de la sección (cm)
h=altura de la sección (cm)

Por tanto, para convertir las cargas actuantes en tensiones aplicamos la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{1200M}{h^3}$$

Donde:

σ = tensión en MPa.
M= momento provocado por las cargas (kN-m)
h=altura de la sección (ancho del canto)

Analizando los resultados de esta tabla se tiene una carga total de 1,03MPa que es menor que la carga resistida a flexión por el canto (tiene una resistencia a flexión característica de 1.18MPa).

Cuando el canto es utilizado como elemento estructural de la losa de entrepiso de una vivienda unifamiliar se somete a las siguientes cargas:

Tabla 9: cargas que actuarán sobre la losa de entrepiso.

Elemento	peso propio	espesor	Ancho	factor de	Cargas
			(m)	mayoración	(kN/m)
canto	17,41 kN/m ³	0,1m	0,35	1,2	0,73
hormigón	24k N/m ³	0,07m	0,35	1,2	0,71
Atezado	0,18 kN/m ² /cm	5cm	0,35	1,2	0,38
Mortero	24 kN/m ³	0,025m	0,35	1,2	0,25
mosaico	0,23 kN/m ² /cm	2,5cm	0,35	1,2	0,24
tabiques	0,5 kN/m			1,2	0,60
carga de uso	1,75 kN/m ²		0,35	1,6	0,98

Las cargas a que son sometidas en la estructura los cantos se obtiene de la multiplicación del peso propio de cada elemento por su espesor, por su ancho y por un factor de mayoración de las cargas; en el caso de la carga de uso no aparece valores de con espesor porque su peso propio está dado en unidades de área; y los tabiques no presentan valores de espesor ni ancho porque su peso específico está dado en unidades por metro lineal.

Las cargas de la tabla anterior están en kN/m y para convertirlas en tensiones en unidades de MPa se convierte la carga en momento mediante la fórmula ($\sigma = \frac{1200M}{h^3}$).

Al analizar los resultados de la tabla se tiene una carga total de 0.93 MPa que es menor que la carga que resistida a flexión por el canto (tiene una resistencia a flexión característica de 1.18 MPa). Atendiendo a los resultados podemos concluir que el canto puede ser utilizado como elemento estructural en la cubierta o entrepiso de una vivienda unifamiliar.

10. Análisis de las cargas actuantes en muros portantes.

Para analizar las cargas a que es sometido el canto en un muro portante de una vivienda unifamiliar se debe tener en cuenta que:

Los muros tendrán un puntal de 2.5m. El resano grueso tendrá un espesor de 3cm y el resano fino tendrá un espesor de 1cm. Las vigas de soporte de la losa serán de sección cuadrada de 18 cm por 6 cm que es la viga utilizada en el sistema de viga y losa; la carga que representa esta viga de forma puntual será tomada como carga uniformemente distribuida para hacer el juego de cargas más desfavorable.

Viviendas de un nivel.

Tabla 10: caga que actuarán en muros portantes de viviendas de un nivel.

elemento	Peso propio	espesor	ancho	longitud	factor de	Cargas (kN/m)
		(m)	(m)		mayoración	
canto(losa)	17,41kN/m ³	0,1	1	4	1,2	8,36
hormigón	24 kN/m ³	0,07	1	4	1,2	8,06
impermeabilizante	0,05 kN/m ²		1	4	1,2	0,24
carga de uso	0,8 kN/m ²		1	4	1,6	5,12
Viga	0,26 kN/m ²			4	1,2	1,25
canto(muro)	17,41 kN/m ³	0,1	1	4	1,2	8,36
Grueso	18 kN/m ³	0,03	1	2,5	1,2	1,62
Fino	20 kN/m ³	0,01	1	2,5	1,2	0,60
cerramiento	24 kN/m ³	0,2	0,1		1,2	0,58

En la tabla las cargas a que son sometidas en la estructura los cantos se obtienen de la multiplicación del peso propio de cada elemento por su espesor, por su ancho, por su longitud y por un factor de mayoración de las cargas; en el caso de la carga de uso e impermeabilizantes no aparecen con valores de espesor porque su peso propio está dado en unidades de área. Los cerramientos no tienen valor de longitud ya que se encuentran sobre los cantos. Analizando los resultados reflejados en la tabla, se tiene una carga total de 34.18 kN/m que es menor que la carga que resistida a compresión por el canto (tiene una resistencia a compresión característica de 162 kN/m.).

En viviendas de dos niveles.

Tabla 11: cargas que actuarán en muros portantes de viviendas de dos niveles.

elemento	peso propio	espesor	ancho	longitud	factor de	cargas
----------	-------------	---------	-------	----------	-----------	--------

				(m)	mayoración	(kN/m)
carga de uso	0,8 kN/m ²			4	1,6	5,12
impermeabilizante	0,05 kN/m ²			4	1,2	0,24
hormigón	24 kN/m ³	0,07m		4	1,2	8,06
canto(losa)	17,41 kN/m ³	0,1m		4	1,2	8,36
viga	0,26 kN/m ³			4	1,2	1,25
cerramento	24 kN/m ³	0,2m	0,1m		1,2	0,58
canto(muro)	17,41 kN/m ³	0,1m		2,5	1,2	5,22
grueso	18 kN/m ³	0,03m		2,5	1,2	1,62
fino	20 kN/m ³	0,01m		2,5	1,2	0,60
carga de uso(entrepiso)	1,75 kN/m ²			4	1,6	11,20
mosaico	0,23 kN/m ² /cm	2,5cm		4	1,2	2,76
mortero	24 kN/m ³	0,025m		4	1,2	2,88
atezado	0,18 kN/m ² /cm	5cm		4	1,2	4,32
hormigón	24 kN/m ³	0,07m		4	1,2	8,06
canto(losa)	17,41 kN/m ³	0,1m		4	1,2	8,36
viga	0,26 kN/m ³			4	1,2	1,25
cerramento	24 kN/m ³	0,2m	0,1m		1,2	0,58
canto(muro)	17,41 kN/m ³	0,1m		2,5	1,2	5,22
grueso	18 kN/m ³	0,03m		2,5	1,2	1,62
fino	20 kN/m ³	0,01m		2,5	1,2	0,60

En la tabla anterior las cargas a que son sometidas en la estructura los cantos se obtienen de la multiplicación del peso propio de cada elemento por su espesor, por su ancho, por su longitud y por un factor de mayoración de las cargas. En el caso de la carga de uso,

impermeabilizantes, y vigas que no aparece con valores de espesor porque su peso propio está dado en unidades de área. Analizando los resultados de esta tabla se tiene una carga total de 77.90 kN/m que es menor que la carga que resistida a compresión por el canto (tiene una resistencia a compresión característica de 162 kN/m.).

En Viviendas de tres niveles:

Tabla 12: cargas que actuarán en muros portantes de viviendas de tres niveles.

	peso propio	espesor	ancho	longitud (m)	factor de mayoración	cargas (kN/m)
carga de uso	0,8 kN/m ²			4	1,6	5,12
impermeabilizante	0,05 kN/m ²			4	1,2	0,24
hormigón	24 kN/m ³	0,07m		4	1,2	8,06
canto(losa)	17,41 kN/m ³	0,1m		4	1,2	8,36
Viga	0,26 kN/m ²			4	1,2	1,25
cerramiento	24 kN/m ³	0,2m	0,1m		1,2	0,58
canto(muro)	17,41 kN/m ³	0,1m		2,5	1,2	5,22
Grueso	18 kN/m ³	0,03m		2,5	1,2	1,62
Fino	20 kN/m ³	0,01m		2,5	1,2	0,60
Carga de uso(entrepiso)	1,75 kN/m ²			4	1,6	11,20
Mosaico	0,23 kN/m ² /cm	2,5cm		4	1,2	2,76
Mortero	24 kN/m ³	0,025m		4	1,2	2,88
Atezado	0,18 kN/m ² /cm	5cm		4	1,2	4,32
hormigón	24 kN/m ³	0,07m		4	1,2	8,06
canto(losa)	17,41 kN/m ³	0,1m		4	1,2	8,36
Viga	0,26 kN/m ²			4	1,2	1,25

cerramiento	24 kN/m ³	0,2m	0,1m		1,2	0,58
canto(muro)	17,41 kN/m ³	0,1m		2,5	1,2	5,22
Grueso	18 kN/m ³	0,03m		2,5	1,2	1,62
Fino	20 kN/m ³	0,01m		2,5	1,2	0,60
Carga de uso(entrepiso)	1,75 kN/m ²			4	1,6	11,20
Mosaico	0,23 kN/m ² /cm	2,5cm		4	1,2	2,76
Mortero	24 kN/m ³	0,025m		4	1,2	2,88
Atezado	0,18 kN/m ² /cm	5cm		4	1,2	4,32
hormigón	24 kN/m ³	0,07m		4	1,2	8,06
canto(losa)	17,41 kN/m ³	0,1m		4	1,2	8,36
Viga	0,26 kN/m ³			4	1,2	1,25
cerramiento	24 kN/m ³	0,2m	0,1m		1,2	0,58
canto(muro)	17,41 kN/m ³	0,1m		2,5	1,2	5,22
Grueso	18 kN/m ³	0,03m		2,5	1,2	1,62
Fino	20 kN/m ³	0,01m		2,5	1,2	0,60

En la tabla anterior las cargas a que son sometidas en la estructura los cantos se obtienen de la multiplicación del peso propio de cada elemento por su espesor, por su ancho, por su longitud y por un factor de mayoración de las cargas. En el caso de la carga de uso, impermeabilizantes, y vigas que no aparece con valores de espesor porque su peso propio está dado en unidades de área. Analizando los resultados de esta tabla se tiene una carga total de 124.74kN/m, que es menor que la carga que resistida a compresión por el canto (tiene una resistencia a compresión característica de 162 kN/m.).

En Viviendas unifamiliares de cuatro pisos:

Tabla 13: cargas que actuarán sobre muros portantes de viviendas de cuatro pisos.

elemento	Peso propio	espesor	ancho	longitud	Factor de	Cargas
				(m)	mayoración	(N/m)
carga de uso	0,8 kN/m ²			4	1,6	5,12
impermeabilizante	0,05 kN/m ²			4	1,2	0,24
hormigón	24 kN/m ³	0,07m		4	1,2	8,06
canto(losa)	17,41 kN/m ³	0,1m		4	1,2	8,36
Viga	0,26 kN/m ²			4	1,2	1,25
cerramento	24 kN/m ³	0,2m	0,1m		1,2	0,58
canto(muro)	17,41 kN/m ³	0,1m		2,5	1,2	5,22
Grueso	18 kN/m ³	0,03m		2,5	1,2	1,62
Fino	20 kN/m ³	0,01m		2,5	1,2	0,60
Carga de uso(entrepiso)	1,75 kN/m ²			4	1,6	11,20
Mosaico	0,23 kN/m ² /cm	2,5cm.		4	1,2	2,76
Mortero	24 kN/m ³	0,025m		4	1,2	2,88
Atezado	0,18 kN/m ² /cm	5cm.		4	1,2	4,32
hormigón	24 kN/m ³	0,07m		4	1,2	8,06
canto(losa)	17,41 kN/m ³	0,1m		4	1,2	8,36
Viga	0,26 kN/m ²			4	1,2	1,25
cerramento	24 kN/m ³	0,2m	0,1m		1,2	0,58
canto(muro)	17,41 kN/m ³	0,1m		2,5	1,2	5,22
Grueso	18 kN/m ³	0,03m		2,5	1,2	1,62
Fino	20 kN/m ³	0,01m		2,5	1,2	0,60
Carga de uso(entrepiso)	1,75 kN/m ²			4	1,6	11,20
Mosaico	0,23 kN/m ² /cm.	2,5cm.		4	1,2	2,76
Mortero	24 kN/m ³	0,025m		4	1,2	2,88
Atezado	0,18 kN/m ² /cm	5cm.		4	1,2	4,32
hormigón	24 kN/m ³	0,07m		4	1,2	8,06

canto(losa)	17,41 kN/m ³	0,1m		4	1,2	8,36
Viga	0,26 kN/m ²			4	1,2	1,25
cerramento	24 kN/m ³	0,2m	0,1m		1,2	0,58
canto(muro)	17,41 kN/m ³	0,1m		2,5	1,2	5,22
Grueso	18 kN/m ³	0,03m		2,5	1,2	1,62
Fino	20 kN/m ³	0,01m		2,5	1,2	0,60
Carga de uso(entrepiso)	1,75 kN/m ²			4	1,6	11,20
Mosaico	0,23 kN/m ² /cm	2,5cm		4	1,2	2,76
Mortero	24 kN/m ³	0,025m		4	1,2	2,88
Atezado	0,18kN/m ² /cm	5cm		4	1,2	4,32
hormigón	24 kN/m ³	0,07m		4	1,2	8,06
canto(losa)	17,41 kN/m ³	0,1m		4	1,2	8,36
Viga	0,26 kN/m ²			4	1,2	1,25
cerramento	24 kN/m ³	0,2m	0,1m		1,2	0,58
canto(muro)	17,41 kN/m ³	0,1m		2,5	1,2	5,22
Grueso	18 kN/m ³	0,03m		2,5	1,2	1,62
Fino	20 kN/m ³	0,01m		2,5	1,2	0,60

En la tabla se analizan las cargas a que son sometidas en la estructura los cantos. Esta carga se obtiene de la multiplicación del peso propio de cada elemento por su espesor, por su ancho, por su longitud y por un factor de mayoración de las cargas. En el caso de la carga de uso, impermeabilizantes, y vigas que no aparece con valores de espesor porque su peso propio está dado en unidades de área. Analizando los resultados de esta tabla se tiene una carga total de 171.59kN/m, que es mayor que la carga que resistida a compresión por el canto (tiene una resistencia a compresión característica de 162 kN/m.).

11. Usos propuestos para el canto en la construcción.

En vista a los resultados anteriores se propone como posibles usos del canto de la cantera de Cabezas en la construcción de viviendas unifamiliares siempre que se tengan en cuenta las dimensiones especificadas anteriormente:

Como elemento estructural en la losa de cubierta, colocando sobre este una carpeta de hormigón de siete centímetros de espesor y dos capas asfálticas de impermeabilizante. Se debe garantizar que la cubierta tenga una evacuación de las aguas por caída libre.

Como elemento estructural en la losa de entrepiso siempre que se utilicen los materiales especificados en el listado de cargas y con las dimensiones que se plantean. Se debe garantizar que la cubierta tenga una evacuación de las aguas por caída libre al menos hasta una canal en sus bordes que encause el agua hasta los bajantes pluviales.

Como elemento estructural en muros de cargas (sin la necesidad de columnas) en viviendas unifamiliares de hasta tres niveles, garantizando la utilización se los materiales especificados en el listado de cargas y con las dimensiones que se plantean.

12. Conclusiones.

Los cantos son rocas margas que se obtienen en las canteras de forma manual aunque pudiesen ser obtenidas de forma mecanizada. Estos tienen una resistencia a compresión media de 2.39 MPa y una resistencia a compresión característica de 1.62 MPa, así como una resistencia a flexión media de 1.5 MPa y una resistencia a flexión característica de 1.18 MPa.

Son extraídos en cantera con diversas dimensiones, aunque se recomienda que tengan 10 cm de espesor por 30cm de ancho por 50cm de longitud para ser utilizados en muros portantes; y 10cm de espesor por 35cm de ancho por 75cm de longitud para ser utilizados como elementos estructurales en losas.

Bibliografía

Medina Torri, F y Ruiz Alejo, L. 2008. *Hormigón estructural I.* La Habana : Felix Varela, 2008.

NC-221:2002. *Hormigón. Elaboración de Probetas para ensayos.*

NC-247:2010. *Bloques huecos de hormigón.*

NC-283:2003. *Densidades de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción.*

NC-284. *Edificaciones. Cargas de uso.*

NC-724:2009. *Ensayos del hormigón. Resistencia del hormigón en estado endurecido.*

Paz Morales, S. 2009. *Geología para ingenieros.* La Habana : Felix Varela, 2009.