

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LADRILLOS FABRICADOS CON RESIDUOS INDUSTRIALES SIDERURGICOS

A. Díaz Navarrete¹; C. Oyarzo Vera²; M. Villagrán Valenzuela³

RESUMEN La explotación de residuos industriales a nivel mundial genera grandes acumulaciones de desechos, siendo los depósitos de barros conox una de las actividades que presenta una cantidad importante de depósitos en la actualidad en nuestro país. Es por esto que se propone implementar el uso de barros conox en la fabricación de morteros, con el objetivo de reducir el impacto ambiental generado por la acumulación de este desecho; transformándolo así, en materia prima. Para estudiar la factibilidad del uso de desechos industriales, se realizó un proceso de investigación experimental que apunta a verificar su comportamiento mecánico en dosificaciones de mortero, y que contenga reemplazo de barros conox en su composición. Inicialmente, se fabricó una probeta rílem referencial de mortero con una dosificación basada en un hormigón H-15, y a partir de ahí, se elaboraron otras muestras con reemplazo de arena por barros conox para estudiar su comportamiento con respecto a una muestra patrón. Del mismo modo, se fabricaron adocretos conox y prismas de adocretos para realizar ensayos de resistencia a flexión y compresión, para validar la factibilidad de uso mediante el estudio del comportamiento mecánico de las dosificaciones propuestas. Luego, se generó una muestra de datos con los resultados de los ensayos para establecer la comparativa de análisis, y evaluar las capacidades mecánicas de cada muestra.

PALABRAS CLAVES: Barros conox, capacidades mecánicas, dosificación.

ABSTRACT. The exploitation of industrial waste worldwide generates large accumulations of waste, with conox mud deposits being one of the activities that currently have a significant number of deposits in our country. This is why it is proposed to implement the use of conox mud in the manufacture of mortars, with the aim of reducing the environmental impact generated by the accumulation of this waste; thus, transforming it into raw material. To study the feasibility of the use of industrial waste, an experimental research process was carried out that aims to verify its mechanical behavior in mortar dosages, and that it contains conox mud replacement in its composition. Initially, a reference rílem mortar specimen was manufactured with a dosage based on H-15 concrete, and from there, other samples were made with replacement of sand by conox mud to study its behavior with respect to a standard sample. In the same way, conox adocretos and adocretos prisms were manufactured to carry out tests of resistance to bending and compression, to validate the feasibility of use through the study of the mechanical behavior of the proposed dosages. Then, a sample of capacities will be presented with the results of the tests to establish the analysis comparison, and to evaluate the mechanics of each sample.

KEY WORDS: Conox mud, mechanical capacities, dosage.

¹Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. adiazn@ing.ucsc.cl

²Profesor Guía, Depto. de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, coyarzov@ucsc.cl

³Profesor Informante, Depto. de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, mwillagran@ucsc.cl

1. INTRODUCCIÓN

El año 2015, la Organización de las Naciones Unidas planteó un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos. Uno de estos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) dice relación con el Desarrollo de una industria, innovación e infraestructura acorde al propósito de estos objetivos. En ese sentido se ha propuesto como meta para el 2030 modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia, promoviendo la adopción de tecnologías, procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas. (Naciones Unidas, 2022).

Estas metas han motivado que muchas industrias en el mundo y en Chile se replanteen sus procesos productivos, buscando aprovechar mejor los recursos disponibles y hacerse cargo de los residuos que generan de una manera sostenible tanto económica como ambientalmente. Ante este desafío la Empresa Siderúrgica Huachipato se ha propuesto dar uso a una serie de co-productos resultantes del proceso de fabricación de aceros en sus plantas de Talcahuano.

La Compañía Siderúrgica Huachipato (CSH) es parte de la empresa CAP S.A. quien a su vez es la principal productora de minerales de hierro y pellets en la costa americana del Pacífico, el mayor productor siderúrgico en Chile y el más importante procesador de acero del país. CSH como productora de acero, tiene una capacidad de producción de 1.450.000 toneladas de acero líquido/año. Es la única siderúrgica integrada del país, es decir, elabora acero a partir de materias primas como mineral de hierro, carbón y caliza lo que garantiza la alta pureza de sus productos y una calidad controlada. Los principales productos que comercializa son barras para medios de molienda de minerales, barras de refuerzo en rollo y rectas, alambrón y barras helicoidales. El mercado al cual abastece principalmente en el mercado nacional son el sector de industrias metalúrgicas (25%), el sector minero (45%), y el sector edificación y obras (30%). (Salazar, 2018).

En general, la industria siderúrgica genera una gran cantidad de residuos (Tabla 1) que pueden ser valorizados para hacerlos compatibles con el desarrollo sostenible. Dichos residuos se producen en diferentes escenarios de la cadena productiva, y se diferencian según su estado en residuos sólidos, líquidos y gaseosos.

Tabla 1: Clasificación de los residuos siderúrgicos según su estado.

Residuos siderúrgicos		
Sólidos	Minerales	Lodos, polvos y escorias de horno alto.
		Lodos, polvos y escorias de acería.
		Polvos de la planta de sinterizado.
		Polvos de los electrofiltros y captadores.
	Metálicos	Escarpa, cascarilla y viruta.
	Químico	Sulfato ferroso, amónico y óxidos férricos.
Líquidos		Grasas, aceites, ácidos, cianuros, etc.
Gaseosos		Gases de horno alto, gas de LD y EAF, gas de coquización

Fuente: Castells, X. E. (2000). Reciclaje de residuos industriales: aplicación a la fabricación de materiales para la construcción.

Los residuos sólidos compuestos por sílice, óxidos de calcio, óxidos de magnesio y óxidos de aluminio y hierro, son uno de los más importantes en cuanto a volúmenes generados. Se estima que en el 2014 se generaron en todo el mundo entre 170 y 250 megatoneladas de escorias de acero. El reciclaje de estas escorias brinda una serie de beneficios ambientales, incluida la preservación de los recursos naturales, la recuperación de metales valiosos y la reducción del volumen de desechos sólidos. En Europa, alrededor del 76% de las escorias de acero generadas en 2010 fueron recicladas. La aplicación principal de estas escorias es como reemplazo de agregados en aplicaciones de construcción. (Quaghebeur et al., 2015)

CAP Acero, ha desarrollado metodologías de re-uso y reciclaje de los residuos que son generados en las etapas de elaboración de producto, es así como el 59% de los desechos son reciclados y el 30% de los residuos son reutilizados. (Memoria Anual 2019). Por ejemplo, la escoria de los altos hornos es vendida a Cementos Bío Bío. Su uso en la producción de este material constructivo reduce la necesidad de calcinación y, por tanto, también disminuye las emisiones de CO₂. Además, en 2020 obtuvieron la autorización sanitaria para reutilizar las borras de alquitrán que se generan en la Planta de Coque. Por su elevado contenido de carbono, pueden ser nuevamente cargadas en la batería de coque en lugar de enviarlas a disposición final. (Memoria anual 2020)

Otro de los residuos que la planta Huachipato produce en mayor cantidad son los Barros Conox. El Barros Conox es principalmente un óxido de Fe, que se elabora como subproducto de la fabricación de acero. Este se produce a una tasa de 4500 toneladas mensuales, es decir, que anualmente se generan 54.000 toneladas de este residuo industrial. Su composición química, expresado en % de rango es de 60% de hierro, 18.0% de óxido de calcio (cal), 6.0% de óxido de magnesio, 3.0% de dióxido de silicio, 2.0% de carbono y en proporciones menores al 1% se registra óxidos de aluminio, fósforo, titanio, vanadio y zinc, además de anhídrido sulfúrico (Tabla 2). Su naturaleza es básicamente un polvillo fino color café, puesto que está compuesto en su mayoría por hierro.

Tabla 2: Ficha técnica Barros Conox. (Fuente: Documento de trabajo).

Compuesto	Rango (%)	Valor típico (%)
Fe total	50.0 - 70.0	60.0
SiO ₂	1.0 - 5.0	3.0
Al ₂ O ₃	0.1 - 1.0	0.6
CaO	10.0 - 30.0	18.0
MgO	1.0 - 15.0	6.0
SO ₃	0.05 - 0.30	0.10
P ₂ O ₅	0.08 - 0.40	0.20
TiO ₂	0.08 - 0.50	0.25
V ₂ O ₅	0.3 - 1.0	0.6
ZnO	0.3 - 2.0	0.8
C	0.3 - 6.0	2.0

Ensayos	Rango	Valor típico
Humedad (%)	10 - 30	20
Densidad (kg/m ³)	1000 - 2000	1500

Dada la gran disponibilidad de este material, en el año 2021 la CSH lanzó un desafío de innovación orientado a buscar nuevos usos del Barro Conox que permita su revalorización y aplicaciones sostenibles. Inspirados en este desafío, la presente investigación se propone desarrollar adocretos utilizando el residuo industrial Barros Conox, minimizando de esta forma las cantidades de desechos que se generan a partir de este y crear una solución efectiva con el co-producto aumentando la eficiencia de los desechos industriales adoptando prácticas sostenibles.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para alcanzar una resistencia específica en una probeta de hormigón, es necesario desarrollar una dosificación con los materiales que conforman el mortero, es por esto que se planteó la elaboración de una muestra patrón, esta mezcla estará compuesta por cemento, arena y agua. Asimismo, con los mismos componentes se realizó la fabricación de muestras con diferentes porcentajes en reemplazo de arena por el residuo industrial Barros Conox. De esta forma, se estudiaron las capacidades mecánicas de las probetas, al ser sometidas a ensayos de flexión y compresión a los 7, 14 y 28 días. Además del desarrollo de adocretos conox y prismas de adocretos, los que fueron sometidos a ensayos de compresión a los 28 días.

2.1 Definición de dosificaciones

Para definir la dosificación, se estableció una búsqueda de la mezcla idónea utilizando como referencia un hormigón H-15. En primera instancia se fabricó una muestra patrón de un set de 9 probetas rilem con una dosificación de cemento, arena y agua en razón 1:4:0.7, respectivamente, utilizando materiales de plantas certificadas que cumplen con la normativa NCh 148 Of 1968, los cuales son: cemento de Cementos Bío Bío (Densidad=3.00 g/ml), arena fina de Arenas Costanera Bío Bío (Densidad=1.57 g/ml) la cual fue tamizada por un tamiz de tamaño #2 y agua tomada de llave (Densidad=1.00 g/ml). Las muestras de barros conox utilizadas para realizar las dosificaciones con reemplazo fueron provistos por la CSH.

En el desarrollo de este proyecto, primeramente, se confeccionaron muestras con 4 diferentes proporciones de reemplazo de arena por barros conox, luego se fabricaron adocretos y prismas de adocretos con la proporción óptima de reemplazo de arena por barros conox. El detalle de estos especímenes se presenta en la Tabla 3, de acuerdo con la siguiente designación:

- DN: Dosificación normal.
- D-BC10/ D-BC20/ D-BC30/ D-BC40/: Dosificación con reemplazo de arena por barros conox proporción del 10%, 20%, 30% o 40%, respectivamente.
- A-BC20: Adocretos conox con sustitución de arena por barros conox en una proporción del 20%.
- P-BC20: Prisma de adocretos conox con sustitución de arena por barros conox en una proporción del 20%.

Tabla 3: Definición de dosificaciones. (Fuente: Elaboración propia).

	Reemplazo de Arena	Fecha de fabricación
	[%]	
DN	0	19/04/2022
D-BC10	0	20/04/2022
D-BC20	20	21/04/2022
D-BC30	30	26/04/2022
D-BC40	40	27/04/2022
A-BC20	20	08/06/2022
P-BC20	20	16/06/2022
DN-2	0	10/06/2022
D-BC20-2	20	14/06/2022

2.2 Fabricación de las probetas

Una vez que fue definida la dosificación definitiva de la muestra patrón de mortero convencional, se planteó fabricar mezclas para los siguientes sets de nueve probetas rilem, se consideró partir con un bajo porcentaje de reemplazo, buscando la factibilidad de incorporar mayores cantidades de barros conox en las siguientes dosificaciones, de esta forma se parte con un reemplazo de arena del 10% para luego continuar con 20%, 30% y 40%. En estas preparaciones de muestras se utilizaron los mismos materiales que para la muestra patrón y se añadió los porcentajes de barros conox indicados anteriormente, realizando de esta forma 4 dosificaciones distintas (Tabla 4).

Tabla 4: Dosificaciones de muestras para 1 molde de mezcla (1,6 g). (Fuente: Elaboración propia).

DOSIFICACIONES				
	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (ml)	Barros conox (g)
DN	320	1280	240	0
D-BC10	320	1152	240	128
D-BC20	320	1024	240	256
D-BC30	320	826	240	384
D-BC40	320	768	240	512

En la fabricación de los sets de probetas se utilizó el protocolo indicado en la NCh158 Of. 1967, bajo condiciones controladas de laboratorio. Para esto se utilizó moldes estandarizados que se dividen en tres comportamientos prismáticos con dimensiones 40x40x160 (mm), el cual se aprecia en Figura 1. Por cada dosificación se generaron 9 probetas rilem.

La preparación de cada dosificación se realizó con ayuda de una mezcladora de accionamiento eléctrico *CONTROLS Model 65-L0005* (Figura 2) donde se fabricó el mortero para proceder a rellenar cada molde con el material revuelto. Luego de 24 horas se desmoldaron y sumergieron en recipientes plásticos herméticos llenos con agua con la finalidad de entregar un curado durante 7, 14 y 28 días, todo esto con el objetivo de analizar el comportamiento de sus capacidades mecánicas.

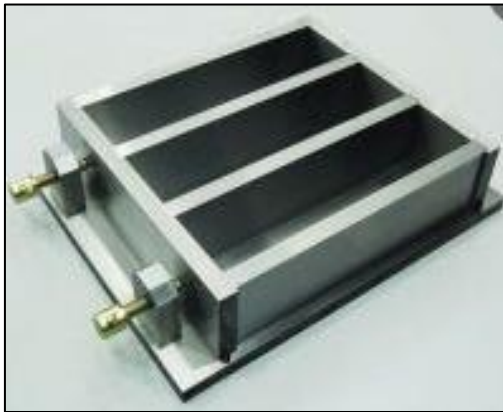


Figura 1: Molde para probetas rilem.
(Fuente: Elaboración propia)



Figura 2: Mezcladora Model 65-L0005.
(Fuente: Elaboración propia).

La programación de trabajo se puede observar en la Tabla 5, donde se identificó la fecha de preparación de muestra, fecha de curado, y la fecha de los días donde fueron sometidos a pruebas mecánicas.

Tabla 5: Programación de trabajo en Investigación. (Fuente: Elaboración propia).

ITINERARIO					
	P. Muestra	Curado	7 días	14 días	28 días
DN	19-abril	20-abril	27-abril	04-mayo	18-mayo
D-BC10	20-abril	21-abril	28-abril	05-mayo	19-mayo
D-BC20	21-abril	22-abril	29-abril	06-mayo	20-mayo
D-BC30	26-abril	27-abril	04-mayo	11-mayo	25-mayo
D-BC40	27-abril	28-abril	05-mayo	12-mayo	26-mayo
A-BC20 1 mezcla	17-mayo	19-mayo	-	-	16-junio
A-BC20 2 mezcla	8-junio	10-junio	-	-	8-julio
DN-2	10-junio	11-junio	-	-	11-julio
D-BC20-2	14-junio	15-junio	-	-	13-julio
P-BC20	16-junio	-	-	-	14-julio

2.3 Fabricación de adocretos conox

En una segunda etapa se desarrolló un molde de madera para crear 20 adocretos conox con dimensiones de 20x10x6 (cm) (Figura 3). La dosificación utilizada fue D-BC20 compuesta por cemento, arena, agua y 20% de reemplazo de arena por barros conox. Para la fabricación del molde se utilizó trozos de madera y tornillos disponibles en laboratorio. En la preparación de la mezcla se empleó betonera al ser un volumen de 30 litros.



Figura 3: Adocretos Conox. (Fuente: Elaboración propia).

Una vez fabricado cada adocreto dando un periodo de 28 días de secado. Se le aplicó un refrentado que se realizó en base a la norma NCh 1172 Of. 2010. El material para refrentado adherido fue la de mezcla yeso-cemento-agua en proporciones 1:1:1, aplicado en la cara superior e inferior con un espesor máximo de 8 (mm) con el objetivo de obtener caras planas y una aplicación de carga en compresión uniforme. El refrentado se dejó fraguar por 24 horas mínimo (Figura 4).

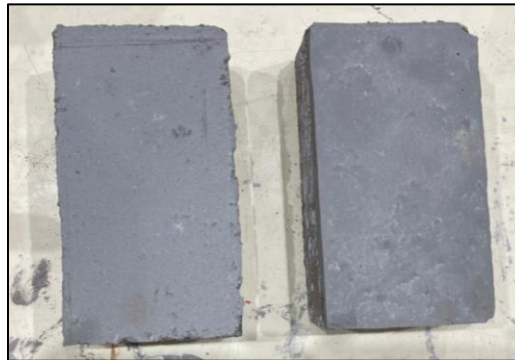


Figura 4: Caras refrentadas de adocretos. (Fuente: Elaboración propia).

2.4 Fabricación de prismas conox

La preparación de los prismas se realizó en base a la norma chilena NCh 167 Of. 2001. La elaboración de cada prisma consiste en 4 unidades de adocretos unidos entre sí por una junta de mortero igual a 10 (mm) como mínimo. La confección de los prismas contempló la colocación del primer adocreto sobre una superficie plana y nivelada, para luego extender una capa de mortero aproximadamente 20 (mm) de espesor. Luego se colocó el adocreto, ejerciendo presión en forma uniforme, de manera de obtener un espesor de junta igual a 10 (mm) como mínimo, variando hasta 15 (mm) en algunos casos. Después de un período de espera de 1 hora y de humectar la superficie del adocreto, se colocó la segunda capa de mortero y el segundo adocreto, repitiendo el procedimiento descrito anteriormente. Se fabricaron 3 prismas con la dosificación D-BC20 y utilizando la longitud completa del adocreto. Luego de confeccionar cada prisma fueron envueltos en una bolsa de nylon por 7 días (Figura 5) y se curaron en ambiente de laboratorio por una suma total de 28 días.

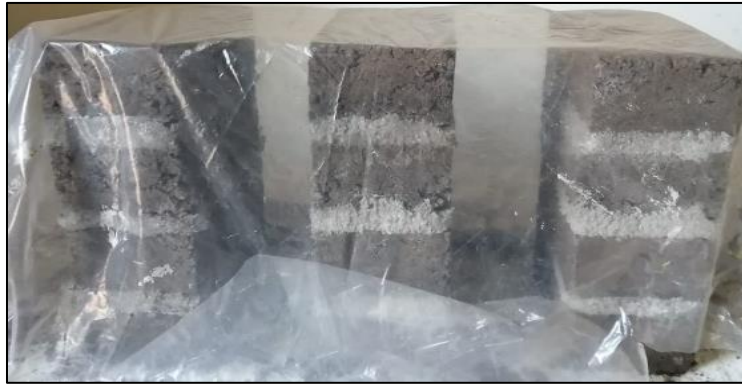


Figura 5: Prismas de adocreto en proceso de curado. (Fuente: Elaboración propia).

Una vez obtenido cada prisma de adocreto la edad suficiente de curado que fue a los 28 días. Un día antes del ensayo, se le aplicó un refrentado a las bases de carga con una pasta yeso-cemento-agua en proporciones 1:1:1, aplicando en la cara superior e inferior con el objetivo de asegurar la planeidad y paralelismo de las bases de apoyo y la de carga. La capa de refrentado no debe ser mayor de 10 (mm). El refrentado se dejó fraguar por 24 horas mínimo (Figura 6).



Figura 6: Prismas de adocreto refrenados. (Fuente: Elaboración propia).

2.5 Ensayo de muestras

A fin de conocer las capacidades mecánicas, es necesario ensayar las probetas a flexión y compresión generando una muestra de datos para su análisis técnico. Los ensayos para probetas rílem fueron ejecutados en una prensa de compresión de la marca *Controls, Model 65-L11G2/C* (Figura 7) y para adocreto conox y prismas de adocreto conox se utilizó la máquina de la marca *Controls, Model Q0802/B* (Figura 8). Los ensayos mencionados anteriormente fueron ejecutados aplicando los mismos tiempos y técnicas en cada una de las probetas y los resultados fueron expresados en (kg/cm^2).



Figura 7: Controls, Model 65 – L11G2/C. (Fuente: Elaboración propia).



Figura 8: Controls, Model Q0802/B. (Fuente: Elaboración propia).

2.5.1 Probetas de mortero

Para el ensayo de flexión, la probeta se sostuvo sobre los apoyos del émbolo de flexión de la prensa. En correspondencia a la carga, esta se aplica en una de las caras laterales de la probeta centrada sobre los apoyos (distancia entre apoyos de 107 mm), y cargada por el rodillo superior de 4 cm como se indica en la Figura 9, a una velocidad 5 ± 1 (kg/s) aplicada en un área de $427 \text{ (mm}^2\text{)}$ la cual tuvo una precisión superior o igual a $\pm 1,5\%$ que consistió de dos placas de presión rectangulares con espesor superior o igual a 10 (mm), un ancho de $40 \pm 0,1$ (mm) y longitud superior a 40 (mm); las placas serán de acero y serán planas con una tolerancia de 0,01 (mm) en la superficie de contacto.

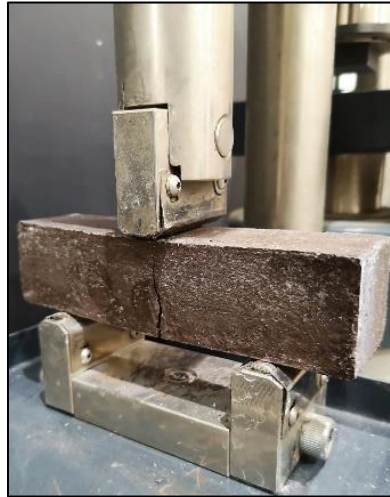


Figura 9: Espécimen en ensayo de flexión.
(Fuente: Elaboración propia).

Cada trozo resultante del ensayo a flexión fue utilizado para desarrollar los ensayos de compresión, aplicando la carga a las dos caras provenientes de las laterales del moldaje, donde se dispuso entre las placas de la máquina en una superficie de 40x40 (mm), de área 1600 (mm²), las que convenientemente fueron las caras más lisas del prisma, evitándose así cualquier interferencia en el ensayo debido a superficies no uniformes creadas por capilaridad. La velocidad de carga fue tal que la presión sobre la probeta aumento entre 10 y 20 (kg/cm²/s), y hasta la mitad de la carga de ruptura pudo aumentar a mayor velocidad, de todas formas, la duración de cada ensayo fue menor o igual a 10 segundos. En la Figura 10 y 11 se ven especímenes en ensayo y el resultado al alcanzar la carga máxima de compresión.



Figura 10: Espécimen en ensayo de compresión.
(Fuente: Elaboración propia).



Figura 11: Espécimen con máxima compresión.
(Fuente: Elaboración propia).

En el Anexo A 6 se puede ver el registro completo de especímenes ensayados.

2.5.2 Adocreto conox

Los adocreto previamente curados durante 28 días fueron ensayados en máquina *Controls, Model Q0802/B*, con platos de acero que garantizaron una distribución uniforme de carga. Para esto se debió limpiar las superficies de apoyo de la máquina de ensayo, así como las caras de aplicación de la carga. Los adocreto fueron colocados en el centro de las placas de la máquina de ensayo como se puede apreciar en la Figura 12.



Figura 12: Adocreto antes de ensayo.
(Fuente: Elaboración propia).



Figura 13: Adocreto BC_01 después de ensayo. (Fuente: Elaboración propia).

Una vez que fue colocado el adocreto en la máquina de ensayo, se le aplicó un esfuerzo normal donde la velocidad de carga no debió ser superior a 20 (MPa/ min), donde lo presionaba hasta su rotura. Las lecturas de carga se realizaron con una aproximación de $\pm 1\%$. En la Figura 13 se muestra el adocreto después de ser ensayado. En el Anexo A 6.17 se encuentra el registro completo de especímenes ensayados.

2.5.3 Prismas de adocretos

Para prismas de compresión de albañilería se utilizó la prensa *Controls, Model Q0802/B*, con platos de acero que garantizaron una distribución uniforme de carga. Este ensayo en particular se realizó con un tamaño de 4 unidades de adocretos. La máquina de ensayo debió tener una superficie de apoyo limpia, así como las caras de aplicación de la carga de los prismas, retirando cualquier elemento suelto que pueda existir sobre los mismos. En la Figura 8 podemos ver la máquina utilizada en el ensayo. Una vez que fue colocado el prisma de adocreto en el centro de las placas de la máquina de ensayo, se le aplicó un esfuerzo normal que comenzó a presionar el prisma hasta su rotura controlando la velocidad de aplicación de carga. En la Figura 14 y 15 se muestra el prisma P-BC_03 antes y después de ser ensayado. En el Anexo A 6.20 se encuentra el registro completo de especímenes ensayados.



Figura 14: Prisma P-BC_03 antes de ensayo.
(Fuente: Elaboración propia).



Figura 15: Prisma P-BC_03 posterior a ensayo.
(Fuente: Elaboración propia).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Descripción física de muestras

A partir de la observación de muestras, cabe mencionar que las probetas cuyas dosificaciones contemplan reemplazo de arena por barros conox presentaron cambios en su aspecto físico. Se puede apreciar que las partículas quedaron firmemente adheridas y que unidas al cemento dieron como resultado probetas compactas, con una apariencia café porosa distinta al color gris típico de probetas convencionales de mortero. Estos cambios se pueden observar en la Figura 16, donde se presenta un set de probetas con 20% de reemplazo de barros conox al momento del descimbre, previo ensayo de pruebas mecánicas.



Figura 16: Set de probetas rilem con 20% reemplazo de barras conox.
(Fuente: Elaboración propia).

3.2 Resultados de probetas ensayos flexión y compresión

Como se indica previamente, se realizó la toma de ensayos de las muestras, registrando tres probetas para cada ensayo a flexión, el cual, una vez realizado genera dos piezas que fueron testeadas a compresión; obteniendo de esta forma tres resistencias a flexión y seis a compresión para elaborar una muestra de datos, con resultados registrados a los 7, 14 y 28 días por cada dosificación.

Los resultados fueron procesados a través de gráficos boxplot realizados con el software *IBM SPSS Statistics 21* que ofrece un análisis estadístico y fue utilizado para representar la distribución de una variable cuantitativa, en este caso, los valores de resistencia máxima obtenidas en ensayos de flexión y compresión.

Se pueden observar en la Figura 17 los ensayos de resistencia a flexión máxima de las diferentes dosificaciones realizadas en probetas rilem, sin encontrar comportamientos atípicos negativos, si se observó una mayor dispersión de datos a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo del barras conox. Por otra parte, los ensayos de resistencia a compresión máxima se reflejan en la Figura 18, señalando un comportamiento similar al observado en los ensayos de flexión. Los gráficos revelan la disposición de las resistencias obtenidas en cada etapa de ensayo y los promedios de cada grupo de probetas se simbolizaron con una línea.

Para establecer un análisis comparativo se realizaron tablas con los resultados de la muestra patrón y las muestras con reemplazo de barras conox, estudiando por separado los comportamientos según los diferentes porcentajes de reemplazo aplicado.

A continuación, se presenta el registro del promedio de resistencias y el coeficiente de variación de Pearson CV % en los ensayos de flexión y compresión a los 7, 14 y 28 días de las probetas rilem donde se obtuvieron 40 valores de máxima flexión y 90 valores de máxima compresión para las siguientes muestras DN, D-BC10, D-BC20, D-BC30 y D-BC40.

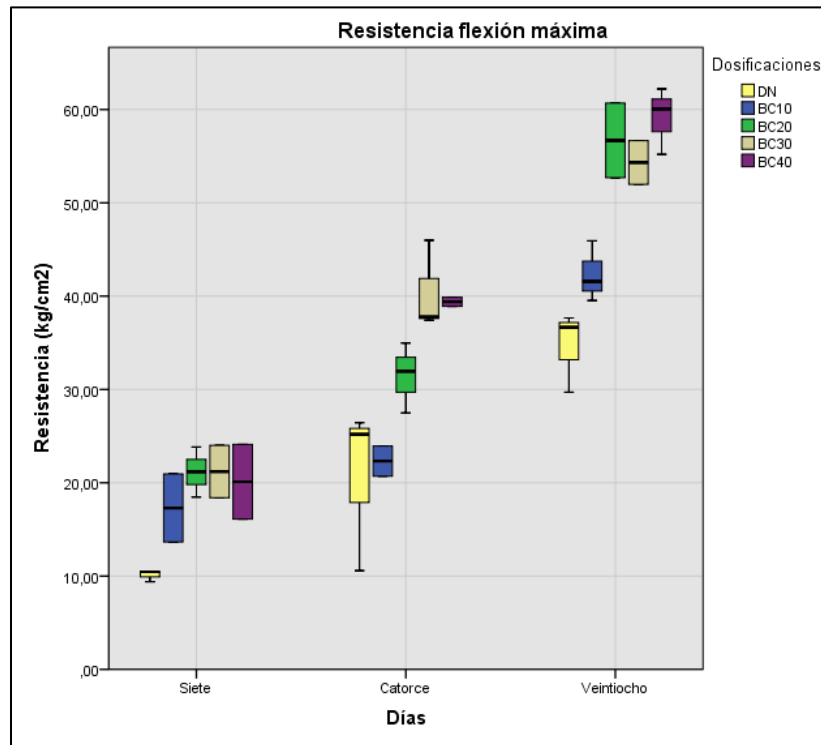


Figura 17: Gráfico de resultados ensayos resistencia flexión máxima. (Fuente: Elaboración propia).

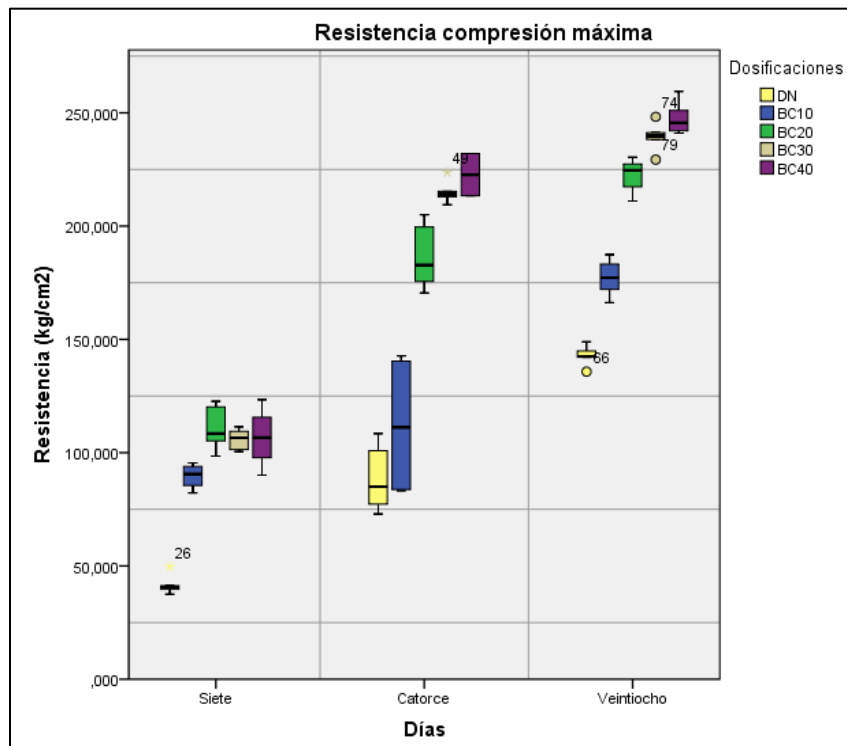


Figura 18: Gráfico de resultados ensayos resistencia compresión máxima. (Fuente: Elaboración propia).

El coeficiente de variación, cuya fecha de ensayo debe indicarse siempre, se podrá aplicar con un buen resultado solamente si una determinada calidad de hormigón se mantiene sin variación alguna a lo largo de un período prolongado de tiempo. (Wogrín, 1974). Según Wogrín los hormigones con porcentajes menores al 10% se consideran muy buenos, suficientes si se encuentran entre 15% y 20% y malo si son mayores a 20%.

La Tabla 6 contiene el promedio de las resistencias máximas a flexión y porcentaje de coeficiente de variación. En esta Tabla el valor del coeficiente de variación a los 28 días para la dosificación D-BC40 se consideraría como un hormigón malo con un porcentaje de variación del 28%. Sin embargo, la mayoría de los valores se encuentran en un rango entre 10% a 15% por lo que se consideran como hormigones buenos.

Por otro parte, se puede analizar que las muestras tuvieron en general resultados de resistencia con un comportamiento creciente a medida que aumentó la edad de curado y el porcentaje de barros conox en la mezcla, donde se identifica que en la dosificación D-BC20 se encuentra un comportamiento mecánico idóneo, ya que por sobre el 20% de reemplazo del residuo industrial no se aprecia mayor cambio en el comportamiento. Es por ello por lo que se utilizó como dosificación patrón para la fabricación de adocretos.

Tabla 6: Promedio resistencia máxima a flexión y porcentaje coeficiente de variación.
 (Fuente: Elaboración propia).

Nomenclatura	Valores	7 días [kg/cm ²]	14 días [kg/cm ²]	28 días [kg/cm ²]
DN	\bar{x}	10,113	25,820	34,68
	CV	6%	3%	12%
D-BC10	\bar{x}	17,300	22,325	42,347
	CV	30%	10%	8%
D-BC20	\bar{x}	21,157	31,463	56,690
	CV	10%	12%	13%
D-BC30	\bar{x}	21,195	40,400	54,320
	CV	19%	12%	6%
D-BC40	\bar{x}	20,110	39,395	59,150
	CV	6%	2%	28%

La Tabla 7 contiene el promedio de las resistencias máximas a compresión y porcentaje de coeficiente de variación. En esta Tabla la mayoría de los valores de CV % son menores al 10%, por lo tanto, según Wogrín se consideran como hormigones muy buenos.

En términos generales, los resultados tanto de la Tabla 6 y 7 obtenidos de los ensayos presentan una tendencia al incremento del comportamiento mecánico a medida que aumentó el porcentaje de reemplazo de barros conox en las dosificaciones llegando a 59.150 y 247, 452 (kg/cm²) en ensayos de flexión y compresión respectivamente.

Tabla 7: Promedio resistencia máxima a compresión y porcentaje coeficiente de variación.
 (Fuente: Elaboración propia).

Nomenclatura	Valores	7 días [kg/cm ²]	14 días [kg/cm ²]	28 días [kg/cm ²]
DN	\bar{x}	41,575	88,242	142,834
	CV	10%	16%	3%
D-BC10	\bar{x}	89,705	112,078	177,237
	CV	6%	29%	4%
D-BC20	\bar{x}	110,552	186,045	222,570
	CV	8%	7%	3%
D-BC30	\bar{x}	105,963	214,923	239,457
	CV	4%	2%	3%
D-BC40	\bar{x}	106,69	222,710	247,452
	CV	13%	6%	3%

Se logró observar en Tabla 8 que en el segundo registro de datos para ensayos de compresión con una cantidad de 18 valores para la muestra patrón y 18 valores para muestra con remplazo de arena de un 20% de barros conox, que las resistencias máximas a compresión alcanzadas a los 28 días presentaron una disminución en la tasa de crecimiento en comparación a las muestras del primer registro de ensayos, pero si bastantes cercanos y el CV % es igual que en la dosificación D-BC20. Además, el conjunto de datos también es menor al 10% en ambos casos, por lo tanto, se consideran como hormigones muy buenos.

Tabla 8: Promedio resistencia máxima a compresión y porcentaje coeficiente de variación.
 (Fuente: Elaboración propia).

Nomenclatura	Valores	28 días [kg/cm ²]
DN-2	\bar{x}	137,290
	CV	4%
D-BC20-2	\bar{x}	169,890
	CV	3%

3.3 Resultados de adocretos en ensayos a compresión

En Tabla 9 se puede observar que un adocreto comercial tuvo en promedio una resistencia a compresión de 247,07 (kg/cm²). La primera mezcla llega a un valor superior de 249, 680 (kg/cm²), mientras que la segunda mezcla con misma dosificación e igual ensayo de compresión alcanza un promedio de 166,04 (kg/cm²) y un coeficiente de variación de 6% por que lo forman un conjunto de datos representativos. La razón de la diferencia entre las mezclas se debe a la cantidad de datos que se obtuvieron en la primera mezcla (A-BC20-1) donde se ensayaron 7 adocretos sin refrentar, en cambio para la segunda mezcla (A-BC20-2) se ensayaron 20 adocretos refrentados por lo que se consiguió una mayor precisión del promedio de datos.

Tabla 9: Promedio resistencia máxima a compresión y porcentaje de coeficiente de variación de adocretos conox. (Fuente: Elaboración propia).

Nomenclatura	Valores	28 días [kg/cm ²]
A-DN	\bar{x}	247,07
	CV	3%
A-BC20-1 mezcla	\bar{x}	249,680
	CV	10%
A-BC20-2 mezcla	\bar{x}	166,040
	CV	6%

3.4 Resultados de prismas de adocretos en ensayos a compresión

Para prismas de adocretos se obtuvieron 3 valores de máxima compresión con muestra D-BC20. Se calculó el promedio y el coeficiente de variación de Pearson CV%. Se observa en Tabla 11 que el CV % es de 11%, por tanto, se considera como un hormigón bueno. Sin embargo, se pudo apreciar que el promedio y coeficiente de variación de los prismas de adocretos estuvieron bajo la resistencia de un adocreto comercial.

Tabla 10: Compresión máxima en prismas de adocretos conox. (Fuente: Elaboración propia).

Nomenclatura	Peso (kg)	Fuerza (Ton)	Presión (kg/cm ²)
P-BC_01	13,541	21,66	108,31
P-BC_02	13,798	22,41	112,03
P-BC_03	13,116	26,30	131,49

Tabla 11: Promedio resistencia máxima a compresión y porcentaje de coeficiente de variación de prismas de adocretos conox. (Fuente: Elaboración propia).

Nomenclatura	Valores	28 días [kg/cm ²]
P-BC20	\bar{x}	117,28
	CV	11%

En general se observó que las resistencias aumentaron a medida que se incorporó mayor cantidad de barros conox a las dosificaciones. Esto se podría explicar por la alta relación de agua/cemento utilizada, ya que cuando se agregó el residuo industrial a la mezcla de mortero se agregó material más fino, por lo tanto, una parte importante del agua tuvo como función hidratar el barros conox y de esta manera se logró mejorar artificialmente la relación agua: cemento de la mezcla.

4. CONCLUSIÓN

Considerando el análisis de resultados, se concluye que el reemplazo de 20% de arena, exhibió resultados que hacen factible la incorporación del residuo industrial como materia prima en fabricación de mortero comercial. Debido a que las muestras con reemplazo de arena en su dosificación indican un comportamiento mecánico por encima de la muestra patrón, alcanzando resistencias en flexión y compresión a los 28 días de 59, 150 y 247,452 (kg/cm²) respectivamente, comparables a concretos corrientes que se pueden encontrar en el mercado. Por otra parte, los adocretos realizados con igual dosificación (D-BC20) dan como resultado un adocreto sustituto al adocreto convencional como alternativa responsable y además sustentable.

En este análisis preliminar se logró apreciar que con barros conox se pudo trabajar con relación agua/cemento más alta (0.7), esto se debe que el agua hidrata al residuo industrial al tener un árido más fino que el normal que conforma un mortero convencional, de esta forma las resistencias a mayor porcentaje de barros conox fueron aumentando.

Se puede mencionar también que la viabilidad de que la industria siderúrgica pueda continuar a largo plazo depende en gran medida de si se puede reducir los efectos adversos causados por la industria y si el proceso se vuelve mucho más limpio. Esto dependerá de cómo la industria del acero pueda transformarse de una economía lineal a una economía circular en la que los co-productos siderúrgicos producidos puedan reutilizarse.

Se recomienda que en futuras investigaciones se realicen análisis químicos, en vista de que, el barrox conox podría tener un poder cementante debido a los componentes químicos que lo conforman, en particular por el óxido de calcio y óxido de magnesio que podrían producir mayor resistencia.

Finalmente, dado el desarrollo de la investigación exploratoria, se concluye que se presentó un proceso eficaz y eficiente para evaluar de manera positiva la alternativa de reutilización de los residuos industriales, integrándolo en los materiales que componen el mortero.

5. REFERENCIAS

CAP S.A. (2019). *Memoria Anual 2019.* [edición electrónica]
https://www.cap.cl/cap/site/artic/20200407/asocfile/20200407175714/memoria_cap_s_a_2019.pdf

CAP S.A. (2020). *Memoria Anual 2020.* [edición electrónica]
https://www.cap.cl/cap/site/artic/20210401/asocfile/20210401160746/memoria_cap_s_a_2020_web_.pdf

Castells, X. E. (2000). Reciclaje de residuos industriales: aplicación a la fabricación de materiales para la construcción. Ediciones Díaz de Santos.

Instituto Nacional de Normalización. (1967). Norma chilena 158, Cementos – Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento.

Instituto Nacional de Normalización. (1968). Norma chilena 148, Cementos – Terminología y especificaciones generales.

Instituto Nacional de Normalización. (2010). Norma chilena 1172, Refrentado de probetas.

Instituto Nacional de Normalización. (2001). Norma chilena 167, Construcción - Ladrillos cerámicos – Ensayos.

Naciones Unidas. (2022). Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación. [edición electrónica]
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure>

Quaghebeur, M., Nielsen, P., Horckmans, L., & Van Mechelen, D. (2015). Accelerated carbonation of steel slag compacts: development of high-strength construction materials. *Frontiers in Energy Research*,

Salazar Pavez, C. (2018). Valoración de Empresa CAP SA.

Wogrin, A. (1974). El control estadístico de la calidad técnica del hormigón.

6. ANEXOS

6.1 Probetas dosificación normal 7 días (DN).

Tabla A.1

		DOSIFICACION NORMAL COMPRESION 7 DIAS			
	Probetas	Altura (mm)	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm ²)
Probeta N°1	DN-1.1	79,0	0,259	0,644	40,24
	DN-1.2	81,0	0,277	0,635	39,71
Probeta N°2	DN-2.1	79,5	0,258	0,660	41,28
	DN-2.2	80,5	0,263	0,656	41,00
Probeta N°3	DN-3.1	74,7	0,242	0,600	37,53
	DN-3.2	84,8	0,285	0,795	49,69



Figura A.6.1.1. Probeta DN-1.1 máx. compresión.



Figura A.6.1.2. Probeta DN-1.2 máx. compresión.



Figura A.6.1.3. Probeta DN-2.1 máx. compresión.



Figura A.6.1.4. Probeta DN-2.2 máx. compresión.



Figura A.6.1.5. Probeta DN-3.1 máx. compresión.



Figura A.6.1.6. Probeta DN-3.2 máx. compresión.

6.2 Probetas dosificación normal 14 días (DN).

Tabla A.2

DOSIFICACION NORMAL					
COMPRESION					
14 DIAS					
	Probetas	Altura (mm)	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm ²)
Probeta N°1	DN-1.1	79,5	0,277	1,237	77,28
	DN-1.2	80,5	0,280	1,614	100,86
Probeta N°2	DN-2.1	86,2	0,297	1,167	72,94
	DN-2.2	73,7	0,255	1,735	108,42
Probeta N°3	DN-3.1	78,5	0,277	1,355	84,72
	DN-3.2	81,2	0,278	1,364	85,23



Figura A.6.2.1. Probeta DN-1.1 máx. compresión.



Figura A.6.2.2. Probeta DN-1.2 máx. compresión.



Figura A.6.2.3. Probeta DN-1.3 máx. compresión.

6.3 Probetas dosificación normal 28 días (DN).

Tabla A.3

DOSIFICACION NORMAL					
COMPRESION					
28 DIAS					
	Probetas	Altura (mm)	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm ²)
Probeta N°1	DN-1.1	82,0	0,292	1,803	112,70
	DN-1.2	77,7	0,271	2,274	142,15
Probeta N°2	DN-2.1	79,7	0,274	2,172	135,75
	DN-2.2	80,2	0,292	2,279	142,47
Probeta N°3	DN-3.1	82,0	0,283	2,318	144,90
	DN-3.2	78,7	0,277	2,382	148,90

Sin registro de especímenes.

6.4 Probetas dosificación 10 % Barros Conox 7 días (D-BC10).

Tabla A.4

DOSIFICACION BARROS CONOX 10%					
COMPRESION					
7					
DIAS					
	Probetas	Altura (mm)	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm ²)
Probeta N°1	D-BC10-1.1	70,2	0,238	1,420	88,73
	D-BC10-1.2	90,2	0,332	1,528	95,49
Probeta N°2	D-BC10-2.1	79,5	0,258	0,506	31,62
	D-BC10-2.2	79,5	0,263	0,451	28,22
Probeta N°3	D-BC10-3.1	77,5	0,242	1,316	82,24
	D-BC10-3.2	82,2	0,285	1,478	92,36



Figura A.6.4.1. Probeta D-BC10-1.1 máx. compresión.



Figura A.6.4.2. Probeta D-BC10-1.2 máx. compresión.



Figura A.6.4.3. Probeta D-BC10-2.1 máx. compresión.

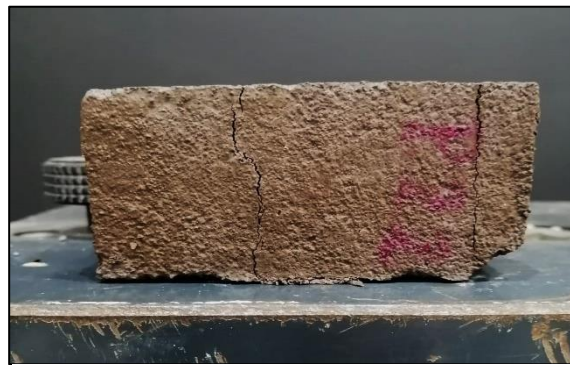


Figura A.6.4.4. Probeta D-BC10-2.2 máx. compresión.



Figura A.6.4.5. Probeta D-BC10-3.1 máx. compresión.



Figura A.6.4.6. Probeta D-BC10-3.2 máx. compresión.

6.5 Probetas dosificación 10 % Barros Conox 14 días (D-BC10).
Tabla A.5

DOSIFICACION BARROS CONOX 10%					
COMPRESION					
14 DIAS					
	Probetas	Altura (mm)	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm2)
Probeta N°1	D-BC10-1.1	81,7	0,285	0,949	59,32
	D-BC10-1.2	76,5	0,271	0,919	57,41
Probeta N°2	D-BC10-2.1	80,0	0,289	2,210	138,15
	D-BC10-2.2	79,5	0,293	2,283	142,70
Probeta N°3	D-BC10-3.1	78,5	0,284	1,347	84,19
	D-BC10-3.2	80,0	0,279	1,332	83,27


Figura A.6.5.1. Probeta D-BC10-1.1 máx. compresión.

Figura A.6.5.2. Probeta D-BC10-2.1 máx. compresión.

Figura A.6.5.3. Probeta D-BC10-3.1 máx. compresión.

6.6 Probetas dosificación 10 % Barros Conox 28 días (D-BC10).
Tabla A.6

DOSIFICACION BARROS CONOX 10%					
COMPRESION					
28 DIAS					
	Probetas	Altura (mm)	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm ²)
Probeta N°1	D-BC10-1.1	78,0	0,276	2,793	174,58
	D-BC10-1.2	81,7	0,295	2,753	172,09
Probeta N°2	D-BC10-2.1	76,5	0,279	2,998	187,39
	D-BC10-2.2	82,5	0,302	2,660	166,22
Probeta N°3	D-BC10-3.1	74,5	0,272	2,878	179,91
	D-BC10-3.2	86,2	0,323	2,932	183,23


Figura A.6.6.1 Muestras de probetas D-BC10.

6.7 Probetas dosificación 20 % Barros Conox 7 días (D-BC20).
Tabla A.7

DOSIFICACION BARROS CONOX 20%					
COMPRESION					
7 DIAS					
	Probetas	Altura (mm)	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm ²)
Probeta N°1	D-BC20-1.1	77,5	0,277	1,693	105,79
	D-BC20-1.2	83,0	0,295	1,575	98,46
Probeta N°2	D-BC20-2.1	78,0	0,284	1,683	105,19
	D-BC20-2.2	82,7	0,315	1,777	111,04
Probeta N°3	D-BC20-3.1	75,5	0,295	1,962	122,66
	D-BC20-3.2	81,7	0,321	1,923	120,17



Figura A.6.7.1. Probeta D-BC20-1.1 máx. compresión.



Figura A.6.7.2. Probeta D-BC20-1.2 máx. compresión.



Figura A.6.7.3. Probeta D-BC20-2.1 máx. compresión.



Figura A.6.7.4. Probeta D-BC20-2.2 máx. compresión.



Figura A.6.7.5. Probeta D-BC20-3.1 máx. compresión.



Figura A.6.7.6. Probeta D-BC20-3.2 máx. compresión.

6.8 Probetas dosificación 20 % Barros Conox 14 días (D-BC20).
Tabla A.8

DOSIFICACION BARROS CONOX 20%					
COMPRESION					
14 DIAS					
	Probetas	Altura (mm)	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm ²)
Probeta N°1	D-BC20-1.1	81,5	0,306	2,913	182,09
	D-BC20-1.2	78,5	0,288	2,278	170,50
Probeta N°2	D-BC20-2.1	79,8	0,299	3,194	199,61
	D-BC20-2.2	80,2	0,305	3,281	205,04
Probeta N°3	D-BC20-3.1	76,5	0,275	2,935	183,43
	D-BC20-3.2	83,5	0,306	2,810	175,60

Sin registro de especímenes.

6.9 Probetas dosificación 20 % Barros Conox 28 días (D-BC20).
Tabla A.9

DOSIFICACION BARROS CONOX 20%					
COMPRESION					
28 DIAS					
	Probetas	Altura (mm)	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm ²)
Probeta N°1	D-BC20-1.1	82,7	0,309	3,616	225,97
	D-BC20-1.2	78,5	0,292	3,572	223,22
Probeta N°2	D-BC20-2.1	85,5	0,318	3,687	230,42
	D-BC20-2.2	75,2	0,282	3,639	227,41
Probeta N°3	D-BC20-3.1	86,2	0,312	3,377	211,07
	D-BC20-3.2	75,5	0,279	3,477	217,33


Figura A.6.9.1. Muestras de probetas D-BC20.

6.10 Probetas dosificación 30 % Barros Conox 7 días (D-BC30).
Tabla A.10

DOSIFICACION BARROS CONOX 30%					
COMPRESION					
7 DIAS					
	Probetas	Altura (mm)	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm2)
Probeta N°1	D-BC30-1.1	75,2	0,291	1,750	109,38
	D-BC30-1.2	82,3	0,318	1,622	101,37
Probeta N°2	D-BC30-2.1	82,0	0,312	1,608	100,49
	D-BC30-2.2	80,0	0,297	1,707	106,67
Probeta N°3	D-BC30-3.1	81,0	0,302	1,783	111,42
	D-BC30-3.2	82,0	0,311	1,703	106,45


Figura A.6.10.1. Probeta D-BC30-1.1 máx. compresión.

Figura A.6.10.2. Probeta D-BC30-2.1 máx. compresión.

Figura A.6.10.3. Probeta D-BC30-3.1 máx. compresión.

6.11 Probetas dosificación 30 % Barros Conox 14 días (D-BC30).
Tabla A.11

DOSIFICACION BARROS CONOX 30%					
COMPRESION					
14 DIAS					
	Probetas	Altura (mm)	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm ²)
Probeta N°1	D-BC30-1.1	76,8	0,292	3,350	209,39
	D-BC30-1.2	83,2	0,314	3,431	214,44
Probeta N°2	D-BC30-2.1	73,5	0,275	3,445	215,33
	D-BC30-2.2	86,5	0,329	3,580	223,72
Probeta N°3	D-BC30-3.1	84,3	0,319	3,420	213,74
	D-BC30-3.2	75,7	0,283	3,407	212,92

Sin registro de especímenes.

6.12 Probetas dosificación 30 % Barros Conox 28 días (D-BC30)
Tabla A.12

DOSIFICACION BARROS CONOX 30%					
COMPRESION					
28 DIAS					
	Probetas	Altura (mm)	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm ²)
Probeta N°1	D-BC30-1.1	79,2	0,295	3,832	239,50
	D-BC30-1.2	80,2	0,303	3,843	240,18
Probeta N°2	D-BC30-2.1	78,5	0,297	3,972	248,23
	D-BC30-2.2	82,0	0,308	3,669	229,34
Probeta N°3	D-BC30-3.1	78,0	0,290	3,908	241,26
	D-BC30-3.2	81,5	0,308	3,812	238,23


Figura A.6.12.1. Muestras de probetas D-BC30.

6.13 Probetas dosificación 40 % Barros Conox 7 días (D-BC40).
Tabla A.13

DOSIFICACION BARROS CONOX 40%					
COMPRESION					
7 DIAS					
	Probetas	Altura (mm)	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm2)
Probeta N°1	D-BC40-1.1	83,5	0,317	1,974	123,39
	D-BC40-1.2	75,5	0,295	1,442	90,11
Probeta N°2	D-BC40-2.1	78,2	0,303	1,687	105,44
	D-BC40-2.2	80,2	0,304	1,725	107,82
Probeta N°3	D-BC40-3.1	83,0	0,314	0,871	54,45
	D-BC40-3.2	75,7	0,287	0,951	59,42


Figura A.6.13.1. Probeta D-BC40-1.1 máx. compresión.

Figura A.6.13.2. Probeta D-BC40-1.2 máx. compresión.

Figura A.6.13.3. Probeta D-BC40-2.1 máx. compresión.

Figura A.6.13.4. Probeta D-BC40-2.2 máx. compresión.



Figura A.6.13.5. Probeta D-BC40-3.1 máx. compresión.



Figura A.6.13.6. Probeta D-BC40-3.2 máx. compresión.

6.14 Probetas dosificación 40 % Barros Conox 14 días (D-BC40).

Tabla A.14

DOSIFICACION BARROS CONOX 40%					
COMPRESION					
14 DIAS					
	Probetas	Altura (mm)	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm ²)
Probeta N°1	D-BC40-1.1	81,5	0,314	1,547	96,71
	D-BC40-1.2	78,5	0,289	1,62	101,25
Probeta N°2	D-BC40-2.1	79,0	0,303	3,712	232,00
	D-BC40-2.2	81,0	0,304	3,415	213,42
Probeta N°3	D-BC40-3.1	80,0	0,305	1,659	103,70
	D-BC40-3.2	80,0	0,297	1,581	98,83



Figura A.6.14.1. Probeta D-BC40-1.1 máx. compresión.



Figura A.6.14.2. Probeta D-BC40-1.2 máx. compresión.



Figura A.6.14.3. Probeta D-BC40-2.1 máx. compresión.



Figura A.6.14.4. Probeta D-BC40-2.2 máx. compresión.



Figura A.6.14.5. Probeta D-BC40-3.1 máx. compresión.



Figura A.6.14.6. Probeta D-BC40-3.2 máx. compresión.

6.15 Probetas dosificación 40 % Barros Conox 28 días (D-BC40).

Tabla A.15

DOSIFICACION BARROS CONOX 40%					
COMPRESION					
28 DIAS					
	Probetas	Altura (mm)	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm ²)
Probeta N°1	D-BC40-1.1	77,7	0,295	3,856	241,02
	D-BC40-1.2	82,7	0,319	3,874	242,10
Probeta N°2	D-BC40-2.1	84,7	0,324	4,017	251,05
	D-BC40-2.2	75,7	0,295	4,151	259,43
Probeta N°3	D-BC40-3.1	80,5	0,31	3,961	247,57
	D-BC40-3.2	79,0	0,302	3,897	243,54

Sin registro de especímenes.

6.16 Adocretos Conox dosificación 20% 28 días. (A-BC20 1 mezcla).
Tabla A.16

ENSAYO ADOCRETOS 20% (1° mezcla)			
COMPRESION			
28 DIAS			
Ladrillos	Peso(kg)	Fuerza (Ton)	Presión(kg/cm2)
1	2,748	0,750	3,77
2	2,751	48,940	244,69
3	2,692	64,870	324,34
4	2,645	48,83	244,16
5	2,696	40,66	203,29
6*	3,021	43,12	269,26
7*	3,016	54,01	270,05
8*	3,040	53,69	268,43

Sin registros de especímenes.

6.17 Probetas dosificación Adocretos Conox dosificación 20% 28 días. (A-BC20 2 mezcla).
Tabla A.17

ENSAYO ADOCRETOS 20% (2° mezcla)			
COMPRESION			
28 DIAS			
Ladrillos	Peso(kg)	Fuerza (Ton)	Presión(kg/cm2)
BC_01	2,889	33,360	166,81
BC_02	2,739	33,330	166,66
BC_03	2,771	235,100	175,52
BC_04	2,829	33,96	169,82
BC_05	2,814	33,73	168,63
BC_06	2,779	33,54	167,7
BC_07	2,876	33,93	169,67
BC_08	2,858	29,94	149,72
BC_09	2,903	32,35	161,74
BC_10	2,784	34,85	174,23
BC_11	2,809	31,17	155,86
BC_12	2,787	35,80	179,00
BC_13	2,775	32,36	161,78
BC_14	2,785	29,12	145,58
BC_15	2,772	33,93	169,63
BC_16	2,926	35,00	174,99

BC_17	2,740	30,94	154,71
BC_18	2,854	31,75	158,77
BC_19	2,805	36,59	182,95
BC_20	2,857	33,41	167,04



Figura A.6.17.1. Probeta BC_01 máx. compresión.



Figura A.6.17.2. Probeta BC_02 máx. compresión.



Figura A.6.17.3. Probeta BC_03 máx. compresión.



Figura A.6.17.4. Probeta BC_04 máx. compresión.



Figura A.6.17.5. Probeta BC_05 máx. compresión.



Figura A.6.17.6. Probeta BC_06 máx. compresión.



Figura A.6.17.7. Probeta BC_07 máx. compresión.



Figura A.6.17.8. Probeta BC_08 máx. compresión.



Figura A.6.17.9. Probeta BC_09 máx. compresión.



Figura A.6.17.10. Probeta BC_10 máx. compresión.



Figura A.6.17.11. Probeta BC_11 máx. compresión.



Figura A.6.17.12. Probeta BC_12 máx. compresión.



Figura A.6.17.13. Probeta BC_14 máx. compresión.



Figura A.6.17.14. Probeta BC_15 máx. compresión.

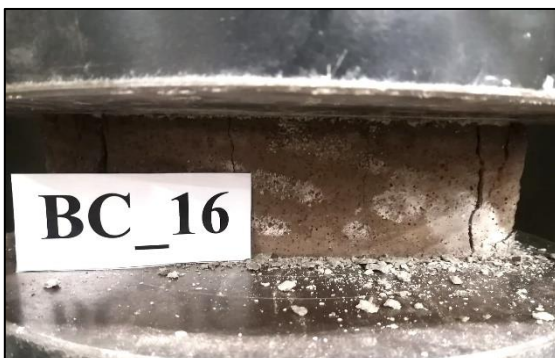


Figura A.6.17.15. Probeta BC_16 máx. compresión.



Figura A.6.17.16. Probeta BC_17 máx. compresión.



Figura A.6.17.17. Probeta BC_19 máx. compresión.



Figura A.6.17.18. Probeta BC_20 máx. compresión.

6.18 Probetas dosificación normal 28 días. (DN-2).
Tabla A.18

	DOSIFICACION NORMAL			
	COMPRESION			
	28 DIAS			
	Probetas	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm2)
Probeta N°1	P1.1	0,286	2,229	139,34
	P1.2	0,286	2,265	141,57
Probeta N°2	P2.1	0,275	2,286	142,85
	P2.2	0,301	2,072	129,52
Probeta N°3	P3.1	0,278	2,138	133,61
	P3.2	0,300	2,239	139,97
Probeta N°4	P4.1	0,269	2,158	134,90
	P4.2	0,303	2,064	128,98
Probeta N°5	P5.1	0,290	2,280	142,52
	P5.2	0,273	2,259	141,19
Probeta N°6	P6.1	0,287	2,186	136,65
	P6.2	0,269	2,200	137,48
Probeta N°7	P7.1	0,272	2,251	140,72
	P7.2	0,304	2,409	150,56
Probeta N°8	P8.1	0,301	2,159	134,94
	P8.2	0,267	2,215	138,44
Probeta N°9	P9.1	0,289	2,091	130,68
	P9.2	0,28	2,035	127,21

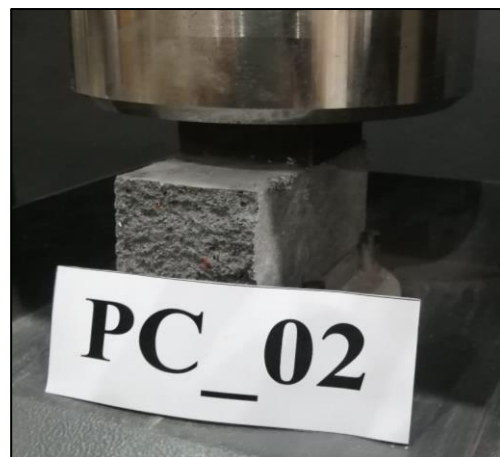

Figura A.6.18.1. Probeta PC_01 máx. compresión.

Figura A.6.18.2. Probeta PC_02 máx. compresión.



Figura A.6.18.3. Probeta PC_03 máx. compresión.



Figura A.6.18.4. Probeta PC_04 máx. compresión.



Figura A.6.18.5. Probeta PC_05 máx. compresión.



Figura A.6.18.6. Probeta PC_06 máx. compresión.



Figura A.6.18.7. Probeta PC_07 máx. compresión.

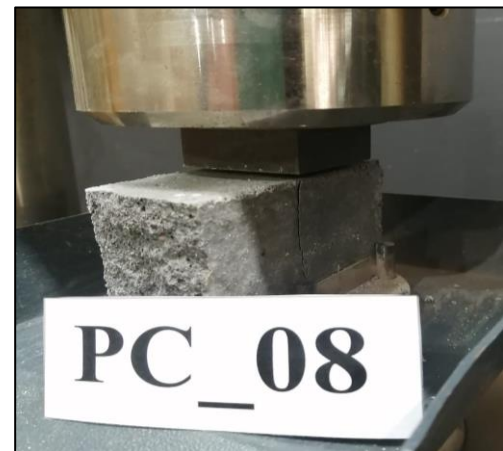


Figura A.6.18.8. Probeta PC_08 máx. compresión.



Figura A.6.18.9. Probeta PC_09 máx. compresión.



Figura A.6.18.10. Probeta PC_10 máx. compresión.



Figura A.6.18.11. Probeta PC_11 máx. compresión.



Figura A.6.18.12. Probeta PC_12 máx. compresión.



Figura A.6.18.13. Probeta PC_13 máx. compresión.



Figura A.6.18.14. Probeta PC_14 máx. compresión.



Figura A.6.18.15. Probeta PC_15 máx. compresión.



Figura A.6.18.16. Probeta PC_16 máx. compresión.

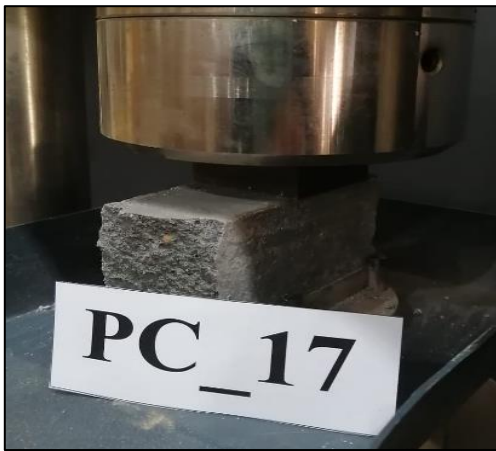


Figura A.6.18.17. Probeta PC_17 máx. compresión.



Figura A.6.18.18. Probeta PC_18 máx. compresión.



Figura A.6.18.19. Probeta PC_19 máx. compresión.



Figura A.6.18.20. Probeta PC_20 máx. compresión.

6.19 Probetas dosificación 20% Barros Conox 28 días. (D-BC20-2).
Tabla A.19

DOSIFICACION BARROS CONOX 20%				
COMPRESION				
28 DIAS				
	Probetas	Peso (kg)	Fuerza (T)	Presión (kg/cm ²)
Probeta N°1	P1.1	0,315	2,661	166,30
	P1.2	0,275	2,735	170,95
Probeta N°2	P2.1	0,296	2,680	167,51
	P2.2	0,294	2,737	171,05
Probeta N°3	P3.1	0,285	2,563	160,16
	P3.2	0,301	2,689	168,07
Probeta N°4	P4.1	0,306	2,788	174,25
	P4.2	0,284	2,780	173,76
Probeta N°5	P5.1	0,318	2,755	172,16
	P5.2	0,279	2,579	161,21
Probeta N°6	P6.1	0,307	2,694	168,37
	P6.2	0,286	2,515	157,20
Probeta N°7	P7.1	0,302	2,774	173,39
	P7.2	0,306	2,688	168,03
Probeta N°8	P8.1	0,264	2,827	176,68
	P8.2	0,324	2,787	174,21
Probeta N°9	P9.1	0,29	2,821	176,31
	P9.2	0,278	2,855	178,45


Figura A.6.19.1. Probeta PBC_01 máx. compresión.

Figura A.6.19.2. Probeta PBC_02 máx. compresión.



Figura A.6.19.3. Probeta PBC_03 máx. compresión.



Figura A.6.19.4. Probeta PBC_04 máx. compresión.



Figura A.6.19.5. Probeta PBC_05 máx. compresión.



Figura A.6.19.6. Probeta PBC_07 máx. compresión.



Figura A.6.19.7. Probeta PBC_08 máx. compresión.



Figura A.6.19.8. Probeta PBC_09 máx. compresión.



Figura A.6.19.9. Probeta PBC_11 máx. compresión.



Figura A.6.19.10. Probeta PBC_12 máx. compresión.



Figura A.6.19.11. Probeta PBC_15 máx. compresión.



Figura A.6.19.12. Probeta PBC_16 máx. compresión.



Figura A.6.19.13. Probeta PBC_17 máx. compresión.



Figura A.6.19.14. Probeta PBC_18 máx. compresión.

6.20 Prismas Adocretos Conox dosificación 20% 28 días. (P-BC20).
Tabla A.20

ENSAYO PRISMAS ADOCRETOS COMPRESION 28 DIAS			
Ladrillos	Peso(kg)	Fuerza (Ton)	Presión(kg/cm ²)
P-BC_01	13,541	21,66	108,31
P-BC_02	13,798	22,41	112,03
P-BC_03	13,116	26,30	131,49


Figura A.6.20.1. Prisma P-BC_01
 máx. compresión.

Figura A.6.20.2. Prisma P-BC_02
 máx. compresión.



Figura A.6.20.3. Prisma P-BC_03 en ensayo compresión.



Figura A.6.20.4. Prisma P-BC_03 máx. compresión.