

Fabricación de Bordillo de concreto empleando residuos siderúrgicos como agregados

Fabian Diaz ¹, Lorena Tenjo ², Oscar Gómez ³, Jose Nunes ⁴, Laboratorio López Hermanos

¹Gerda Diaco; jose.nunes2@gerdau.com.br

Resumen: El presente proyecto se centra en la utilización de residuos siderúrgicos de acería, los cuales son materiales secundarios resultantes del proceso de fabricación de acero que puede ser utilizado en el desarrollo de productos constructivos para su aplicación en proyectos infraestructura vial internos y externos. Para que los productos (Bordillos) con base de residuos siderúrgicos puedan ser utilizados en proyectos constructivos es necesario que cumplan con propiedades de resistencia y durabilidad con respecto a valores nominales de normas técnicas. Inicialmente fue hecho el análisis físico químico de la materia prima que genera la Acería y se almacena en el patio de Coproductos, materia prima que se implementara en la fabricación de los productos, con esta caracterización de la materia prima se evaluaron diferentes dosificaciones y se prepararon muestras para evaluar las propiedades mecánicas de los Bordillos. Los resultados se compararon con la resistencia nominal de las normas exigidas para prefabricados de concreto. Finalmente, se obtuvieron las proporciones óptimas de mezcla para la fabricación de Bordillos con equipos proporcionados por la empresa contratista. Los resultados muestran valores del Módulo de Rotura para la resistencia a la flexión muy cercanos a 4 Mpa (Promedio de 3 especímenes) y 3,5 Mpa (Individual), exigidos en la norma NTC 4109 para unidades prefabricadas.

Palabras claves: Bordillo; Concreto; Análisis físico químico; Concreto, Diseño de mezcla; Resistencia a la flexión, Modulo de Rotura.

1. Introducción

El uso de materiales secundarios como son los agregados siderúrgicos resultantes de los procesos de horno eléctrico de fusión y afino en la producción de acero, tierras finas resultantes del cribado y tierras salientes de la fragmentadora procesadas en corrientes Eddy; los agregados siderúrgicos se están utilizando como agregado en la producción de cemento, ladrillos y asfalto en empresas del campo de la construcción. El uso de estos en la industria de ladrillos puede beneficiar la reducción de los costos de disposición y adicional a la protección del medio ambiente [2]. A pesar de que muchos estudios han reportado el efecto positivo de reemplazar los materiales agregados como arenas y gravas por escorias del proceso de fundición de acero (luego de ser procesadas), aún hay gran potencial de desarrollar un proceso estandarizado de fabricación ladrillos, bloques, bordillos y otros productos para construcción. Los agregados siderúrgicos de acero que se utilizaron en la fabricación de los bordillos son obtenidos de los hornos eléctricos y de afino de la acería de Gerda Diaco Tuta en Colombia. La composición química de las escorias que se procesan en Coproductos para obtener

agregados siderúrgicos esta expresada en función de óxidos simples calculados a partir de fluorescencia de rayos X.

El objetivo de este proyecto es disponer los subproductos de la producción de acero mediante el desarrollo de materiales y productos alternativos de construcción como lo son bordillos para aplicaciones tanto vehiculares como peatonales sustituyendo agregados tradicionales como las arenas y cemento por agregados siderúrgicos y tierras resultantes del proceso de la fabricación del acero.

2. Caracterización de la materia prima

Los materiales utilizados para la fabricación de los prototipos de BORDILLOS A-85 fueron agregado siderúrgico blanco, agregado siderúrgico gris (de diferentes granulometrías) y tierras finas de la planta Gerdau Diaco Tuta en Colombia, cemento y agua. Fue realizado análisis químico de los materiales con el fin de establecer las propiedades reales de estos sub-productos del proceso de acería. Los resultados obtenidos de elementos y compuestos de muestran en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Resultado análisis químico “Elementos”.

ELEMENTOS	Agregado siderúrgico Gris 3/8" (mg/Kg)	Agregado siderúrgico Blanco (mg/Kg)	Tierras Finas (mg/Kg)
Calcio (Ca)	7,72	19,53	3,49
Magnesio (Mg)	2,1136	7,9726	1,6538
Potasio (K)	0,06	0,05	0,29
Sodio (Na)	0,05	0,09	0,13
Aluminio (Al)	2,17	2,38	1,88
Silicio (Si)	25,01	15,98	16,32
Hierro (Fe)	14,28	4,76	22,57
Manganeso (Mn)	10598,83	4356,85	4193,43
Zinc (Zn)	508,53	1064,42	23858,66
Cobre (Cu)	63,19	57,26	1706,44

Tabla 2. Resultado análisis químico “Compuestos”.

COMPUESTOS	Agregado siderúrgico Gris 3/8" (%)	Agregado siderúrgico Blanco (%)	Tierras Finas (%)
Óxido de Calcio (CaO)	10,81	27,34	4,88
Óxido de Magnesio (MgO)	3,5043	13,2186	2,742
Óxido de Potasio (K ₂ O)	0,07	0,06	0,35
Óxido de Sodio (Na ₂ O)	0,06	0,12	0,17
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	4,11	4,49	3,56
Óxido de Silicio (SiO ₂)	35,51	34,19	34,92
Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	20,42	6,81	32,27
Óxido de Manganeso (MnO)	1,37	0,56	0,54
Óxido de Zinc (ZnO)	0,06	0,13	2,97
Óxido de Cobre (CuO)	0,01	0,01	0,21

3. Diseño de las mezclas de concreto

Fueron planteados varios escenarios el diseño de mezcla de concreto con una dosificación adecuada de agregados siderúrgicos (gris y blanco) y cemento, esto con el fin de alcanzar el módulo de rotura exigido por la NTC 4109 para unidades prefabricadas (4 Mpa – 3,5 Mpa) el cual se obtiene con el ensayo a flexión realizado a las unidades prefabricadas, como se muestra en la tabla 3, las dosificaciones usadas en los prototipos se muestra en las tablas 4, 5, 6, 7 y 8; diferentes escenarios con el fin de tener una base y observar los resultados hacia el diseño de mezcla ideal del producto. Las tierras de la fragmentadora procesadas en corrientes de Eddy no se tomaron en cuenta debido a que no se ajustan a las especificaciones de gradación para arenas de la NTC 174.

Tabla 3. Módulo de rotura mínimo para bordillos y cunetas

Fuente: NTC 4109.

Unidades prefabricadas		Bordillos o cunetas elaborados en el sitio	
Promedio de 3 especímenes	Individual	Promedio de 3 especímenes	Individual
4,0	3,5	5,5	4,8
^A El módulo de rotura se ha especificado a los 28 d. Sin embargo, las unidades o el concreto se pueden utilizar a edades más tempranas, cuando exista un historial sobre la evolución de la resistencia de unidades o concretos de iguales características y éste indique que alcanzan dicha resistencia. Esto no exime de la verificación directa de la calidad de las unidades y concretos.			

Tabla 4. Detalle de las proporciones de mezcla y cantidad de materiales diseño para bordillo 1 (A/C= 0,57).

Fecha prueba: 18 de febrero 2021

Material	Peso Seco (kg/m3)	Porcentaje (%)
Agua	296	13%
Cemento	500	22%
Tierras finas	79	3%
Agregado Siderúrgico Gris 3/8"	913	39%
Agregado Siderúrgico Blanco	538	23%
Total	2325	100 %

Tabla 5. Detalle de las proporciones de mezcla y cantidad de materiales diseño para bordillo 2 (A/C= 0,38).

Fecha prueba: 18 de febrero 2021

Material	Peso Seco (kg/m3)	Porcentaje (%)
Agua	190	9%
Cemento	500	22,5%
Tierras finas	79	3,5%
Agregado Siderúrgico Gris 3/8"	913	41%
Agregado Siderúrgico Blanco	538	24%
Total	2219	100 %

Tabla 6. Detalle de las proporciones de mezcla y cantidad de materiales diseño para bordillo 4.**Fecha prueba:** 4 de Mayo 2021

Material	Peso Seco (kg/m3)	Porcentaje (%)
Agua	212	8%
Cemento	505	22%
Agregado Siderúrgico Gris 3/4"	1266	50%
Agregado Siderúrgico Blanco	543	22%
Total	2526	100 %

Tabla 7. Detalle de las proporciones de mezcla y cantidad de materiales diseño para bordillo 5.**Fecha prueba:** 21 de Mayo 2021

Material	Peso Seco (kg/m3)	Porcentaje (%)
Agua	251	8%
Cemento	505	20%
Agregado Siderúrgico Gris 3/8"	262	11%
Agregado Siderúrgico Gris 6 mm	689	28%
Agregado Siderúrgico Gris 3 mm	262	11%
Agregado Siderúrgico Blanco	523	22%
Total	2501	100 %

Tabla 8. Detalle de las proporciones de mezcla y cantidad de materiales diseño para bordillo 6 (fabricados 3 para obtener promedio).**Fecha prueba:** 22 de Junio 2021

Material	Peso Seco (kg/m3)	Porcentaje (%)
Agua	209	8%
Cemento	464	19%
Agregado Siderúrgico Gris 3/8"	269	11%
Agregado Siderúrgico Gris 6 mm	717	29%
Agregado Siderúrgico Gris 3 mm	269	11%
Agregado Siderúrgico Blanco	538	22%
Total	2466	100 %

4. Dimensiones Bordillo A-85

Se tiene un dimensionamiento de los especímenes teniendo en cuenta las directrices de la NTC 4109 referente a dimensiones las cuales incluyen longitud, alturas y espesor del bordillo A-85 como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Dimensiones espécimen Bordillo A-85.

ALTURA ESTANDAR	CAIDA DEL CHAFLÁN	LONGITUD ESTANDAR	ESPESOR ESTANDAR
mm	mm	mm	mm
350	50	800	200

5. Proceso de fabricación de los Bordillos A-85

5.1. Selección, almacenamiento y dosificación de materiales

El agregado siderúrgico blanco, agregado siderúrgico gris 3/8", 6mm, 3mm, el cemento y tierras finas se prepararon en las granulometrías y cantidades mostradas en las tablas de diferentes dosificaciones. La materia prima fue apilada en la zona patio Coproductos cómo se muestra en la figura 1.



Figura 1. Agregado siderúrgico blanco; Agregado siderúrgico gris 3/8", 6mm, 3mm; Tierras Finas; Cemento. **Fuente:** Autor, 2021

5.2 Fabricación prototipos de los Bordillos A-85 con agregados siderúrgicos

Prototipos bordillos con los diferentes escenarios de mezcla: Inicialmente se realiza un recubrimiento a la formaleta del producto con APCM (figura 2a), a continuación el concreto a base de agregados siderúrgicos es fundido hasta alcanzar una altura de 5cm en la formaleta (figura 2b), aplicando diferentes dosificaciones de agua por cada escenario de mezcla implementado. Después se instala el primero de dos tubos de 10 cm de diámetro (figura 2c) para el primer aligeramiento del producto (figura 2d), esto con el objetivo de disminuir el peso de los bordillos. Luego se continua con el llenado de la formaleta hasta alcanzar la altura del segundo aligeramiento y se realizan vibraciones para eliminar vacíos existentes (Figura 2e). En seguida se realiza la instalación del segundo tubo para aligeramiento, se rellena hasta el borde de la formaleta y se realizan vibraciones (figura 2f). Durante el proceso de fabricación es aplicada vibración de baja frecuencia durante un tiempo corto para no producir segregación de los agregados hasta alcanzar la altura total de 35 cm de la formaleta. Al final se realiza un proceso de alisado (figura 2g), esto con el propósito de quitar excesos de concreto.



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)

Figura 2. a) Recubrimiento formaleta con ACPM; b) Fundida concreto a base de agregado siderúrgico hasta primera altura; c) Tubos; d) Instalación primer tubo para aligeramiento; e) Fundida hasta altura segundo aligeramiento y vibraciones; f) Instalación segundo tubo, fundida hasta el borde de formaleta y vibraciones; g) Proceso de alisado. **Fuente: Autor, 2021**

5.3 Fraguado y curado

Los Bordillos recién fabricados son desencofrados como se muestra en la (figura 3a) en tiempos de dependiendo del escenario de mezcla probado respectivamente, para iniciar su proceso de fraguado el cual no requiere hidratación regular para evitar que se sequen. Los Bordillos con los escenarios de mezcla y adicionalmente un bordillo fabricado regularmente por BB-EQUIPOS (Empresa contratista), se estiban de manera organizada y enviados al laboratorio para realizar ensayos de flexión a los bordillos para así determinar que espécimen cumple con el módulo de rotura exigido por la normativa NTC - 4109 y concluir que diseño de mezcla de material a base de agregados siderúrgicos cumple con las exigencias de resistencia a la compresión necesaria para su posterior estandarización y producción.



a)



a)



a)



b)



c)

Figura 3. a) Desencofrado; b) Bordillo fabricado; c) Estibado de Bordillos

Fuente: Autor, 2021

6. Pruebas de resistencia a la flexión.

Durante la elaboración de los bordillos a base de agregados siderúrgicos, las muestras se sometieron a un proceso de curado en agua para posteriormente enviar al laboratorio y programar las respectivas fechas de falla de acuerdo a la norma NTC 673 (Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto). En las tablas 6 se muestran los resultados de prototipos ensayados a flexión con las más mezclas realizadas en campo.

Tabla 6. Resultados de resistencia a flexión bordillos.

Fecha de prueba	Especimen	Carga Máxima		Módulo de Rotura (Mpa)			%
		Kg/cm ²	N	Indv	Resultado	Nom	
18/02/2021	1) DIACO MEZCLA #1	19	42264	3,4	NO_CUMPLE	3,5	97%
18/02/2021	2) DIACO MEZCLA #2	20	44488	3,6	CUMPLE	3,5	103%
18/02/2021	3) BB-Equipos	10	22244	1,8	NO_CUMPLE	3,5	51%
04/05/2021	4) DIACO MEZCLA #4	132	41615	3,5	NO_CUMPLE	3,5	100%
21/05/2021	5) DIACO MEZCLA #5	180	54988	4,5	CUMPLE	3,5	129%
22/06/2021	6) DIACO 1 MEZCLA #6	220	67208	5,4	CUMPLE	3,5	154%
22/06/2021	6) DIACO 2 MEZCLA #6	170	51933	4,3	CUMPLE	3,5	123%
22/06/2021	6) DIACO 3 MEZCLA #6	180	54988	4,5	CUMPLE	3,5	129%

7. Conclusiones

Se realizaron varios experimentos para estudiar el efecto de utilizar agregados siderúrgicos de acería en la resistencia a la flexión de bordillos, . Como trabajo futuro se pretende buscar la reducción de la cantidad de cemento en la mezcla y hacer más rentables la fabricación de los Bordillos. Se requieren hacer pruebas de absorción de agua para verificar la expansión de los Bordillos. Es necesario hacer seguimiento del comportamiento de los bordillos cuando están ya instalados en los peatonales y demás obras internas.

Referencias

1. Colombiana, N. T. (2008). NTC 4109, Prefabricados de concreto. Bordillos, Cunetas y Topellantas de concreto. ICONTEC, Bogotá.
2. ISSN: 2319-8753, "Steel Slag ingredient for concrete pavement" International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 2, Issue 3, March 2013 Author 1, A.; Author 2, B. *Book Title*, 3rd ed.; Publisher: Publisher Location, Country, 2008; pp. 154–196, ISBN.
3. Quimbay Herrera, R. (2013). Aspectos de la evaluación del desempeño del concreto. Colección Egresados.