

Fabricación de adoquines vehiculares de concreto empleando residuos siderúrgicos como agregados

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

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 internos y externos. Para que los adoquines con base de residuos siderúrgicos puedan ser utilizados en aplicaciones constructivas 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, con esta caracterización de la materia prima se evaluaron diferentes dosificaciones y se prepararon muestras para evaluar las propiedades mecánicas de los adoquines. Los resultados se compararon con la resistencia nominal de las normas exigidas para cilindros y núcleos de concreto. **[Finalmente, se obtuvieron las proporciones óptimas de mezcla para la fabricación de los adoquines con equipos proporcionados por la empresa contratista. Los resultados muestran valores de resistencia a la compresión muy cercanos a los 2500 PSI exigidos en la norma NTC 673.]**

Palabras claves: Adoquines; Concreto; Análisis físico químico; Diseño de mezcla; Resistencia a la compresión.

1. Introducción

El uso de materiales secundarios como lo son la Abregado Siderúrgico resultante 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; la Abregado Siderúrgico se está utilizando como agregado en la producción de cemento, ladrillos y asfalto en empresas del campo de la construcción. El uso de Abregado Siderúrgico acero 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 Abregado Siderúrgicos del proceso de fundición de acero, aún hay gran potencial de desarrollar un proceso estandarizado de fabricación ladrillos o bloques. La Abregado Siderúrgico de acero que sé utilizo en la fabricación de los bloques es obtenida de los hornos eléctricos y de afino de la acería de Gerda Diaco Tuta en Colombia. La composición química de las Abregado 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 alternativos de construcción como lo son adoquines para aplicaciones

tanto vehiculares como peatonales sustituyendo agregados tradicionales como las arenas y cemento por Abregado Siderúrgico y tierras resultantes del proceso de la fabricación del acero.

2. Caracterización de la materia prima

Los materiales utilizados para la fabricación de los adoquines fueron Abregado Siderúrgico blanca y negra de la acería de tuta, cemento, tierras finas y tierras de la fragmentadora procesadas en corrientes de Eddy. La Abregado Siderúrgico negra fue seleccionada del patio de coproductos en tamaños de 7 mm y de 3/8". La Abregado Siderúrgico blanca fue seleccionada en tamaño de 7 mm. 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 Negra Finos (mg/Kg)	Agregado Siderúrgico Negra 3/8" (mg/Kg)	Agregado Siderúrgico Blanca (mg/Kg)	Tierras Finas (mg/Kg)
Calcio (Ca)	3,32	7,72	19,53	3,49
Magnesio (Mg)	2,4495	2,1136	7,9726	1,6538
Potasio (K)	0,06	0,06	0,05	0,29
Sodio (Na)	0,09	0,05	0,09	0,13
Aluminio (Al)	2,51	2,17	2,38	1,88
Silicio (Si)	23,35	25,01	15,98	16,32
Hierro (Fe)	13,32	14,28	4,76	22,57
Manganeso (Mn)	9806,23	10598,83	4356,85	4193,43
Zinc (Zn)	2626,18	508,53	1064,42	23858,66
Cobre (Cu)	148,75	63,19	57,26	1706,44

Tabla 2. Resultado análisis químico "Compuestos".

COMPUESTOS	Abregado Siderúrgico Negra Finos (%)	Abregado Siderúrgico Negra 3/8" (%)	Abregado Siderúrgico Blanca (%)	Tierras Finas (%)
Óxido de Calcio (CaO)	4,64	10,81	27,34	4,88
Óxido de Magnesio (MgO)	4,0613	3,5043	13,2186	2,742
Óxido de Potasio (K ₂ O)	0,07	0,07	0,06	0,35
Óxido de Sodio (Na ₂ O)	0,13	0,06	0,12	0,17
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	4,73	4,11	4,49	3,56
Óxido de Silicio (SiO ₂)	49,97	35,51	34,19	34,92
Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	19,05	20,42	6,81	32,27
Óxido de Manganeso (MnO)	1,27	1,37	0,56	0,54
Óxido de Zinc (ZnO)	0,33	0,06	0,13	2,97
Óxido de Cobre (CuO)	0,02	0,01	0,01	0,21

3. Diseño de las mezclas de concreto

Fueron planteados dos escenarios el diseño de mezcla de concreto con una dosificación adecuada de Abregado Siderúrgicos, tierras finas (las tierras de la fragmentadora procesadas en corrientes de Eddy se descartaron al no ajustarse a las especificaciones de la norma única de gradación para arena de la NTC 174) y cemento esto con el fin de alcanzar un módulo de rotura (Figura #) exigido por la NTC 2017(MPa), la dosificación final obtenida se muestra en la tabla 4.

Figura #. Resistencia a la Flexo tracción (Modulo de rotura)

Fuente. Norma Técnica Colombiana 2017.

Módulo de rotura 8mr) a los 28d, Mínimo , Mpa		Longitud de la huella (lh) Máximo, mm
Promedio de 5 especímenes	Individual	Promedio de 5 especímenes
4,2	3,8	23
El módulo de rotura (mr) se ha especificado a los 28 d. Sin embargo los adoquines se pueden utilizar a edades más tempranas , cuando existe un historias sobre la evolución del módulo de rotura (mr) de adoquines de igual características, y éste indique que los primeros pueden alcanzar dicho módulo y que poseen la resistencia necesaria para ser colocados. Lo anterior, no exime de la verificación directa de la calidad de los adoquines mediante ensayos a los 28d. Se pueden especificar módulos de rotura (mr) mayores, o capas superficiales de características especiales, cuando lo requieran las condiciones de servicio como con cargas abrasivas, llantas y orugas metálicas, entre otros, en cuyo caso se debe consultar con los proveedores locales para averiguar por la disponibilidad de este tipo de adoquines (véase NOTA1).		

Tabla 4. Detalle de las proporciones de mezcla y cantidad de materiales Escenario 1.

Material	Dosificación (kg/m3)	Porcentajes (%)
Agua	9	5
Cemento	37	20
Agregado Siderúrgico Gris 3/8" (% que pasa Tamiz)	55	30
Agregado Siderúrgico Blanco (% que retiene Tamiz)	21	11
Agregado Siderúrgico Blanco (% que pasa Tamiz)	56	30
Tierras Finas	8	4
Total	184	100

4. Dimensionamiento adoquines

Se tiene un dimensionamiento de los especímenes teniendo en cuenta las directrices de la NTC 2017 referente a dimensiones las cuales incluyen longitud, ancho y espesor del adoquín como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Dimensiones espécimen adoquín.

ANCHO (100mm < an)	ESPESOR (40mm < ee)“peatonal” (60mm < ee)“vehicular”	LONGITUD (100mm < Ln < 20mm)
mm	mm	mm
100	80	200

4.1. Relación entre las dimensiones

- La relación entre la longitud nominal (L_n) y el ancho nominal (a_n) de los adoquines no debe ser mayor de 2,5 (NTC 2017).

$$\frac{L_n}{a_n} = \frac{200mm}{100mm} = 2.$$

- La relación entre la longitud nominal (L_n) y el espesor estándar (ee) de los adoquines no debe ser mayor de 5 (NTC 2017).

$$\frac{L_n}{ee} = \frac{200mm}{80mm} = 2,5.$$

4.2. Tolerancias

4.2.1. Aristas

Según las indicaciones de la NTC 2017, se deben aceptar desportilladuras con una dimensión con una dimensión tal que si proyecciones sobre el plano horizontal (Superficie de desgaste o referencia) y sobre el plano vertical (Paredes) no tengan más de 3mm, de lo contrario serán consideradas como defectos.

4.2.2. Bisel

Según las indicaciones de la NTC 2017, todos los adoquines que tengan bisel (curvo/recto) deben cumplir con los requisitos que se presentan a continuación:

- El Bisel debe tener igual forma o perfil (tamaño, inclinación o curvatura) y una geometría bien definida en todo si ancho y longitud.
- Tanto la proyección horizontal (phb) como la proyección vertical (pvb) del perfil del Bisel recto (Figura 1) deben tener mínimo 3mm y máximo 7 mm respectivamente incluyendo la franja de escalonamiento.

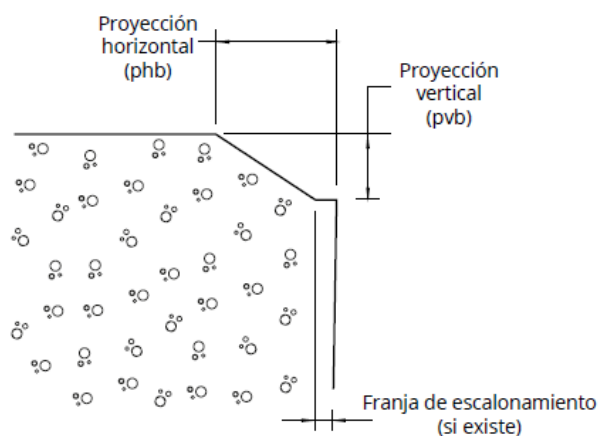


Figura 1. Corte transversal adoquín Biselado

Fuente. Norma Técnica Colombiana 2017.

5. Proceso de fabricación de los adoquines

5.1. Selección, almacenamiento y dosificación de materiales

Las Abregados Siderúrgicos, el cemento y tierras finas fueron separados en el patio de coproductos (Figura 3) en las granulometrías y cantidades mostradas en la tabla 4.



(a)



(b)



(c)

Figura #. (a) Abregado Siderúrgico Blanco; (b) Abregado Siderúrgico Gris 3/8"; (c) Tierras Finas.