

**EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CEMENTO PORTLAND Y AGREGADOS
PÉTREOS CON VIRUTA DE CUERO PARA LA RETENCIÓN DEL CROMO
PRODUCIDO EN EL PROCESO DE REBAJADO DEL CUERO**

**CRISTIAN CAMILO ERAZO URBANO
ALEJANDRO ORTEGA ORDOÑEZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2017**

**EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CEMENTO PORTLAND Y AGREGADOS
PÉTREOS CON VIRUTA DE CUERO PARA LA RETENCIÓN DEL CROMO
PRODUCIDO EN EL PROCESO DE REBAJADO DEL CUERO**

**CRISTIAN CAMILO ERAZO URBANO
ALEJANDRO ORTEGA ORDOÑEZ**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA EL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**DIRECTORA
ING. RUBY CRIOLLO MARTÍNEZ, PHD.**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2017**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en este trabajo son responsabilidad exclusiva del autor” Artículo 1 del Acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”

Artículo 13, Acuerdo N. 005 de 2010, emanado del Honorable Consejo Académico.

Nota de aceptación

Directora

Jurado 1

Jurado 2

San Juan de Pasto, Marzo 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial a la Doctora Ruby Criollo y a la Doctora Carol Castillo Parra, por dedicar tiempo con tanto empeño a la elaboración del proyecto. Además, por brindarnos todo su conocimiento con respecto al tema tratado que fue muy importante y determinante en este trabajo.

Agradecimiento especial al personal de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño Pedro Alfonso Tobar España, Diana Catherine Melo Muñoz, Ana Marisol Urbano, María del Rosario Carreño y demás personal que intervino en el proceso de estudio por prestar sus servicios eficaz y eficientemente.

Agradecimiento especial al laboratorista Gustavo Ponce, quien aportó todo su conocimiento y dedicó tiempo al proceso de investigación, sin retribución alguna. Queremos resaltar al Señor Gustavo Ponce como un gran trabajador y amigo.

Agradecemos a demás personas como el Laboratorista Víctor Sánchez, que de igual forma aportó conocimientos y experiencias en el campo de los suelos y concretos, además de su amabilidad al facilitarnos elementos difíciles de conseguir y que fueron concluyentes en los resultados de laboratorio. También al ingeniero Vicente Parra, quien en demasiadas ocasiones resolvió dudas y nos brindó consejos para lograr buenos resultados.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a Dios, a nuestros padres, hermanos, novia, demás familiares y amigos que brindaron su apoyo incondicional moral y económico durante todo el proyecto de investigación.

Yo Alejandro Ortega Ordoñez, dedico este trabajo a mi padre Alejandro Ortega Gonzales y a mi abuela Elia Martínez los cuales, a pesar de haberlos perdido al comienzo de mi carrera, han estado guiándome y cuidándome desde el cielo. A mi madre Érica Ordoñez Martínez, una madre ejemplar, quien me ha enseñado que con esfuerzo y dedicación podemos llegar a cumplir nuestras metas, la mujer que a pesar de las circunstancias hizo todo lo posible para que pudiera terminar mi carrera TE AMO MAMA.

A mis hermanos, Carlos, Rosario y Alejandra, por su apoyo incondicional, por sus valiosos consejos, su paciencia gracias a ellos soy lo que soy.

A mi hijo David Alejandro, por ser la fuente de mi inspiración y motivación para prepararme cada día más y así poder depararle un futuro mejor.

A mi compañero y amigo Cristián Camilo Erazo, por su dedicación y apoyo incondicional para poder terminar con éxito este proyecto.

Yo Cristian Camilo Erazo, dedico este trabajo a mis padres Carlos Orlando Erazo y María Leonor Urbano, por su gran apoyo.

A mi hermano Carlos Andrés Erazo y a la memoria de Viviana Carolina Revelo Prieto (Q.E.P.D), quienes me acogieron en su hogar durante tanto tiempo.

A mi hermana Ana Cristina Erazo, quien creyó en mí apoyándome en todos los aspectos durante mi carrera.

A mis demás hermanos: Abelardo, Edward y Elsa Erazo Urbano, por su compañía y consejos que día a día hicieron de mí quien soy ahora.

A mi compañero y amigo Alejandro Ortega Ordoñez, por demostrar gran empeño y trabajo para lograr que el proyecto sea culminado.

RESUMEN

El presente trabajo busca una alternativa de disposición final de los residuos generados por las microempresas curtidoras de cuero. Se evaluaron mezclas de cemento portland con los residuos del proceso de rebajado o raspado del cuero, las cuales contienen cromo III y agregados pétreos. Dichas mezclas podrían utilizarse en la fabricación de adoquines y placas de concreto para pisos; ya que las propiedades elásticas de estos residuos podrían mejorar la resistencia a la flexión del concreto y del mortero. Por tanto, se evaluó la resistencia de las mezclas a la flexión, además de la resistencia a la compresión. De igual forma, se evaluará la transferencia del cromo contenido en el concreto y/o mortero al suelo y al agua.

La utilización de los residuos con contenido de cromo III en la producción de prefabricados de concreto, permitiría mitigar los impactos ambientales producidos por la inadecuada disposición de estos residuos.

ABSTRACT

This study explores an alternative for final disposal of waste generated by leather tanneries. Portland cement mixes with rock aggregates and leather scraping process waste, which contain chromium III, will be evaluated. Such mixtures can be used in the manufacture of paving and concrete slabs for floors; because the elastic properties of these residues can improve the flexural strength of concrete and mortar. Therefore, the flexural strength, as well as the compressive strength will be evaluated. In the same way, the transfer of chromium content in concrete and/or mortar to land and water will be assessed.

The use of waste containing chromium III in the production of precast concrete, would mitigate the environmental impacts caused by the improper disposal of leather scraping process wastes.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. ANTECEDENTES	20
2. MARCO TEÓRICO	23
2.1 NATURALEZA QUÍMICA DEL CROMO	23
2.2 PRESENCIA DEL CROMO EN EL MEDIO AMBIENTE	23
2.3 PRESENCIA DEL CROMO EN EL AGUA	24
2.4 CONCENTRACIONES DE CROMO EN EL SUELO Y VEGETALES	25
2.5 FUENTES DE CROMO EN COLOMBIA	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1 DETERMINACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CROMO AL SUELO	29
3.1.1 Toma y preparación de muestras.	29
3.1.2 Caracterización de la muestra de suelo	30
3.1.3 Montaje del experimento	31
3.1.4 Determinación de Cromo total en el suelo	31
3.2 DETERMINACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CROMO AL AGUA	32
3.3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA APOYADA Y CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ LIBRE.	33
3.3.1 Equipo.	33
3.3.2 Procedimiento	34
3.3.3 Medición de la muestra después del ensayo	35
3.3.4 Cálculos	36
3.4 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA Y CARGADA EN EL PUNTO CENTRAL	36
3.4.4 Mediciones del espécimen después del ensayo	37
4. ESTUDIOS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X	39
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
5.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO	40
5.2 TRANSFERENCIA DE CROMO AL SUELO	40
5.3 TRANSFERENCIA DE CROMO AL AGUA	44
5.4 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO	45
5.4.1 Caracterización de los materiales.	45

5.4.2	Elaboración de especímenes	58
5.4.3	Resultados resistencia a la compresión	61
5.4.4	Resultado de resistencia a la flexión.	61
5.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	63
5.5.1	Análisis de varianza para Cilindros.	64
5.5.2	Análisis de varianza para Vigas apoyadas y cargadas en el punto central.	65
5.5.3	Análisis de varianza para vigas apoyadas y cargadas en los tercios de luz libre.	66
5.6	ESTUDIOS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)	68
	CONCLUSIONES	71
	RECOMENDACIONES	72
	BIBLIOGRAFÍA	73

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Diseño factorial 3x2	31
Tabla 2. Resultados análisis de textura	40
Tabla 3. Transferencia de cromo al suelo	40
Tabla 4. Clasificación del porcentaje de materia orgánica en suelo según el clima	41
Tabla 5. Clasificación según valores de pH del suelo	42
Tabla 6. Clasificación de suelos según su textura	42
Tabla 7. Transferencia de Cr al agua	44
Tabla 8. Granulometría del agregado fino	46
Tabla 9. Clasificación del agregado fino según el valor de módulo de finura	47
Tabla 10. Peso específico y absorción del agregado fino	48
Tabla 11. Masa unitaria suelta del agregado fino	50
Tabla 12. Masa unitaria compactada del agregado fino	50
Tabla 13. Granulometría del agregado grueso	51
Tabla 14. Masa unitaria suelta del agregado grueso	53
Tabla 15. Masa unitaria compactada del agregado grueso	53
Tabla 16. Gravedad específica y absorción del agregado grueso	54
Tabla 17. Cantidad de muestras a elaborar	58
Tabla 18. Cantidad de materiales para elaborar vigas patrón	59
Tabla 19. Cantidad de materiales para elaborar cilindros de 4"	59
Tabla 20. Resultados a compresión 28 días con mezcla normal	61
Tabla 21. Resultados a compresión 28 días con mezcla de viruta	61
Tabla 22. Resultados a flexión 28 días con mezcla normal	62
Tabla 23. Resultados a flexión 28 días con mezcla de viruta	62
Tabla 24. Resultados a flexión 28 días con mezcla normal	62
Tabla 25. Resultados a flexión 28 días con mezcla de viruta	62
Tabla 26. Intervalos de confianza del 95% cilindros	64
Tabla 27. Resumen estadístico cilindros	64
Tabla 28. ANOVA cilindros	64
Tabla 29. Intervalos de confianza del 95,0% vigas falladas al punto central	65
Tabla 30. Resumen estadístico vigas falladas al punto central	65
Tabla 31. ANOVA vigas falladas al punto central	66
Tabla 32. Intervalos de confianza del 95,0% vigas falladas al tercio	66

Tabla 33. Resumen Estadístico vigas falladas al tercio	67
Tabla 34. ANOVA vigas falladas al tercio	67
Tabla 35. Fórmulas y nombres de las fases identificadas (estudio DRX)	69

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Elaboración de cubos 5x5x5cm	29
Figura 2. Cubos puestos en la superficie y enterrados a 15cm de profundidad	31
Figura 3. Fraguado de cubos para evaluar la transferencia de cromo al agua	32
Figura 4. Toma muestra de agua de los cubos fraguados	32
Figura 5. Máquina de ensayo	33
Figura 6. Vigas para ensayo a flexión	34
Figura 7. Vigas	34
Figura 8. Falla viga a flexión apoyada en los tercios de la luz libre	35
Figura 9. Falla viga a flexión apoyada en el punto central	37
Figura 10. Granulometría agregado fino	46
Figura 11. Peso específico y absorción del agregado fino	48
Figura 12. Masa unitaria suelta y compactada del agregado fino	49
Figura 13. Granulometría agregado grueso	51
Figura 14. Masa unitaria suelta y compactada del agregado grueso	52
Figura 15. Gravedad específica y absorción del agregado grueso	54
Figura 16. Viruta de cuero	56
Figura 17. Resistencia a compresión cilindros con viruta en tiras y pulverizada	57
Figura 18. Elaboración de vigas y cilindros	60
Figura 19. Resistencia a la compresión	61
Figura 20. Resistencia a la flexión	63

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Variación de la concentración de cromo con respecto al tiempo	41
Gráfica 2. Variación de la concentración de cromo en el agua	44
Gráfica 3. Granulometría agregado fino	47
Gráfica 4. Granulometría del agregado grueso	52
Gráfica 5. Medias y 95,0% de Fisher LSD cilindros	65
Gráfica 6. Medias y 95,0% de Fisher LSD vigas falladas al punto central	66
Gráfica 7. Medias y 95,0% de Fisher LSD vigas falladas al tercio	67
Gráfica 8. Difractograma	70

INTRODUCCIÓN

Las curtiembres son industrias donde se transforman las pieles a través de un proceso complejo que genera gran cantidad de efluentes líquidos y residuos sólidos, con una importante carga de materia orgánica, solventes, sulfuros, residuos enzimáticos, elementos traza, entre ellos el que causa mayores problemas, el Cromo¹. Este metal cobra importancia debido a su toxicidad y a que no es una sustancia biodegradable, por lo que puede bioacumularse a lo largo de la cadena trófica. En estado de oxidación Cr (III) es un oligoelemento necesario en el metabolismo de la glucosa. En su estado de oxidación Cr (VI) son ampliamente conocidos sus efectos genotóxicos, cancerígenos, mutagénicos y su efecto irritante en las mucosas².

En Colombia, el sector industrial de cuero tiene relevancia por la cantidad de empleos que aporta generalmente a comunidades de escasos recursos³. A nivel nacional el Departamento de Nariño ocupa el segundo lugar en la producción de cueros⁴. El Municipio de Belén concentra el mayor porcentaje de esta producción y los vertidos se realizan sobre la Quebrada Mocondino, sin tratamiento previo. En el municipio de Belén esta práctica es la principal actividad económica. La industria del cuero se fue gestando a partir de 1920 desplazando al sector primario de la economía, que era la agricultura. El campesino encontró en la pequeña industria del cuero condiciones de subsistencia y posibilidades de acumulación de capital, que la agricultura rudimentaria y ancestral no podía ofrecer⁵.

Debido a la naturaleza del proceso de curtido y a las prácticas artesanales la mayoría de estos procesos generan problemas ambientales que afectan los diferentes componentes del ambiente. El recurso hídrico se ve afectado por la gran cantidad de insumos involucrados en el proceso productivo, así como la

¹ MANAHAM. (2002). Environmental Chemistry, 7th Edition. 876 p.

² ADRIANO. (2001). Trace Elements in the Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals, Springer, New York, USA. 867 p.

³ DNP. (2007). Departamento Nacional de planeación. Agenda interna para la productividad y la competitividad. documento regional Nariño. Santa Fé de Bogotá.

⁴ CNPL. (2003). Centro Nacional de Producción más limpia. Proyecto ambiental en la industria de curtiembre en Colombia: Diagnostico y estrategias.

⁵ Belén, A. d. (2001). Plan de desarrollo Alcaldía de Belén Nariño. Obtenido de http://belen-narino.gov.co/apc-aa-files/63623536663165633266313665326430/PLAN_DE_DESARROLLO_MUNICIPIO_DE_BELÉN_2012_2015.pdf

naturaleza misma de las pieles que aportan una alta carga orgánica a los vertimientos. Adicionalmente, algunos subproductos y residuos se vierten frecuentemente con las aguas residuales a la red de alcantarillado o a los cuerpos de agua. De igual forma, los sólidos insolubles ocasionan el taponamiento de las redes de alcantarillado y sedimentación en los cuerpos de agua⁶.

Por otra parte, se generan grandes cantidades de residuos sólidos, que no son dispuestos de manera adecuada. De estos subproductos, la viruta de cromo presenta el manejo más complejo. Este residuo proviene del proceso de rebajado del cuero después de ser curtido, por lo tanto, contiene cromo y esto hace que deba tenerse especial cuidado en su disposición para evitar que el metal sea liberado de la fibra y se transfiera al medio ambiente.

⁶ DAMA. (2004). Departamento técnico de administración del medio ambiente. políticas ambientales distritales. Secretaria distrital de ambiente. Alcaldía Mayor de Bogotá.

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

DESCRIPCIÓN PROBLEMA

La gran mayoría de procesos industriales generan residuos de diferente naturaleza, que en algunas ocasiones son desechados sin tratamiento previo siendo este un grave factor de contaminación que afecta no solo al medio ambiente sino también a la salud de los habitantes de las zonas aledañas.

En el municipio de Belén operan 44 curtiembres, constituyéndose en el mayor productor de cuero en el Departamento de Nariño. En el complejo proceso de curtido del cuero se generan efluentes líquidos y residuos sólidos que no son tratados antes de su disposición final, lo cual genera un grave problema ambiental. La viruta de cuero es un residuo sólido consistente en tiras retiradas de la piel para darle un acabado parejo a ésta. Este residuo genera dos problemas importantes, el primero es el contenido de Cromo y el segundo es el considerable volumen producido, ambos difíciles de manejar adecuadamente. La comunidad en el afán de controlar el almacenamiento de esta basura de cuero, ha invertido en máquinas que compactan en un bloque los residuos que son almacenados en lugares próximos a las instalaciones de producción cerca de la cabecera municipal.

De igual forma, se ha gestionado una planta de tratamiento de aguas residuales específicamente para los desechos del procesamiento que ya está en ejecución. Si bien se ha realizado estudios a los cuerpos de agua, no se han analizado qué efectos tienen sobre otros componentes del ecosistema y aún más sobre la salud humana, aunque se sabe de antemano que el cromo puede ser cancerígeno⁷. Respirar niveles altos de cromo (VI) puede producir irritación del revestimiento interno de la nariz, úlceras nasales, secreción nasal y problemas respiratorios tales como asma, tos, falta de aliento o respiración jadeada. Las concentraciones de cromo en el aire que producen estos efectos pueden variar de acuerdo a los diferentes tipos de compuestos de cromo; los efectos del cromo (VI) ocurren a concentraciones mucho más bajas que los del cromo (III)⁸.

⁷ División de Toxicología y Ciencias de la Salud Toxfaqs. (2012). GencyForToxicSubstances And DiseaseRegistry.

⁸ División de toxicología y ciencias de la salud ToxFAQs. (2012). GENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY.

El efecto principal que se observa en animales que ingieren compuestos de cromo (VI) son irritación y úlceras en el estómago y el intestino delgado y anemia. Los compuestos de cromo (III) son mucho menos tóxicos y no parecen causar estos problemas⁹.

Por otra parte, se han observado daño de los espermatozoides y del sistema reproductivo de animales de laboratorio machos expuestos al cromo (VI)¹⁰.

El contacto de la piel con ciertos compuestos de cromo (VI) puede producir úlceras en la piel. Algunas personas son muy sensibles al cromo (VI) y cromo (III). En algunas personas se han descrito reacciones alérgicas que se manifiestan como enrojecimiento e hinchazón grave de la piel¹¹. No obstante, no se han registrado muertes a corto o largo plazo por uso del cromo en Belén.

Se han evaluado fuentes alternativas de ingresos económicos a la comunidad, pero estos no generarían mayor lucro que la microempresa de las curtiembres, por lo tanto, es importante que se desarrollen propuestas que permitan disminuir la carga contaminante de las industrias, se gestione adecuadamente los residuos y de esta manera las industrias curtidoras puedan desarrollar su actividad industrial de manera sustentable.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Puede utilizarse la mezcla de cemento portland, materiales pétreos y viruta de cuero para la fabricación de adoquines y placas, como una alternativa de disposición adecuada de este residuo sólido?

JUSTIFICACIÓN

La disposición de los residuos es una problemática a la que se tienen que enfrentar la gran mayoría de los procesos industriales. En Nariño, una de las industrias más productivas es la del cuero, la cual generan sus propios vertidos y subproductos cuya errada disposición ocasiona daños ambientales.

⁹ToxFAQs. (febrero de 2001). Obtenido de <http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/60%29cromo.pdf>

¹⁰Ibid.

¹¹Ibid.

Las cortineras y sus residuos con contenido de cromo, entre otros contaminantes deben ser tratados adecuadamente antes de su disposición. En el caso particular de la viruta de cromo, el presente trabajo estudia un método de aprovechamiento del subproducto que permita disponerlo de manera adecuada, evitando que este llegue al medio ambiente y afecte los recursos naturales.

Ante la escasa información actualizada sobre reducción de impactos ambientales, planes de mitigación y la necesidad de un manejo planificado de la disposición final de los residuos generados por la manufacturación del cuero, es necesario proponer alternativas de disposición adecuada de los residuos, como la utilización en prefabricados y estudio del comportamiento del cromo en el material para evaluar si existe o no transferencia del metal al suelo y al agua, evaluar la su resistencia y demás propiedades físicas del material para proponer posibles usos y evitar problemas de almacenamiento. También se busca proponer una alternativa innovadora de trabajo para la región.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar mezclas de cemento portland, agregados pétreos y la viruta producida como residuo del proceso de rebajado (raspado) del cuero, para la retención del cromo existente en estos residuos y su incidencia en la resistencia mecánica del concreto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la transferencia del cromo desde una matriz de encapsulamiento formada por viruta de cuero, cemento y agregados pétreos al suelo y al agua.
- Identificar la especie de cromo formada en la matriz de encapsulamiento.
- Evaluar las propiedades físicas de elementos de concreto elaboradas con viruta.
- Evaluar la resistencia a compresión y flexión de los elementos de concreto elaborados con viruta.

1. ANTECEDENTES

Teniendo en cuenta los residuos generados, se ha estudiado la forma de disponer de ellos adecuadamente mediante la utilización en los concretos de manera que se convierta en una alternativa para disminuir la cantidad de contaminantes arrojados al ambiente, cuyos efectos pueden ser negativos para el medio natural como para la salud. A este respecto, Swarnalatha et al (2007) en su trabajo, reportan la reducción al cromo trivalente mediante combustión a una temperatura de 800°C en un incinerador térmico bajo diferentes velocidades de flujo de oxígeno para optimizar la reacción al momento de incinerar los compuestos orgánicos e impidiendo al mismo tiempo la conversión de cromo (III) a cromo (VI), obteniendo como resultado cenizas que fueron solidificadas y estabilizadas con cemento portland y agregado fino. Se elaboraron bloques solidificados y fueron probados por resistencia a la compresión no confinada y a la lixiviación de metales pesados. La resistencia a la compresión no confinada de estos bloques estaba en el intervalo de 120 kg/cm² y 180 kg/cm². La estabilización de cromo (III) en la matriz de gel de cemento se confirmó mediante microscopía electrónica de barrido SEM, espectroscopia de Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR) y Espectroscopia de difracción de rayos X (XRD). Se llevaron a cabo estudios de lixiviación a través de TCLP en los bloques solidificados para determinar el grado de lixiviación de cromo y compuestos orgánicos (expresado como COD) bajo condiciones estándar¹².

En el año 2007, se vinculó el estudiante Nelson Cuervo con la Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental titulada “Estudio del Proceso de compostaje de los lodos producidos en la operación de Pelambre en la industria del curtido de pieles”, la cual fue terminada en 2008, bajo la dirección del Profesor Otoniel Sanabria, y cuyos resultados comprueban que el compostaje del pelo es viable técnicamente. Anteriormente, en una etapa inicial de investigación se identificaron los residuos generados en cada operación unitaria del proceso de curtido y se identificaron teóricamente las técnicas aplicadas y disponibles para la gestión adecuada de los residuos sólidos generados por este sector económico¹³.

¹² S. Swarnalatha, T. Srinivasulu, M. Srimurali, G. Sekaran. (2007). Safedisposal of toxicchromebuffingdustgenerated. JournalHazardousMaterials. 0-1.

¹³ HERREÑO. (2006). Gestión de residuos sólidos en curtiembres. Avances y metas de los proyectos liderados por el IDEA.

Entre los años 2008 - 2009, se ejecutó el convenio entre el instituto de estudios ambientales de la Universidad Nacional de Colombia (IDEA-UNC) 510-07 con las corporaciones autónomas regionales(CAR), en el cual una de las actividades desarrolladas fue la cuantificación de los residuos sólidos en cada operación unitaria, y de otra parte, se elaboró un documento que contenía la descripción de alternativas de carácter individual y colectivo, para el manejo de residuos sólidos y subproductos generados en curtiembres y una propuesta de planificación para el programa de gestión y el manejo eficiente de los subproductos, políticas de gestión y seguimiento, capacitación, renovación de tecnología, las políticas asociativas para la valorización de cada residuo y su disposición final en caso que no se puede aprovechar¹⁴.

Por otra parte, el contrato No. 449 de Colciencias y la Asociación de Curtidores de Villapinzón y Chocontá (ACURTIR) en Cundinamarca, contempla la evaluación teórica y experimental de alternativas para el aprovechamiento económico de residuos de las curtiembres. Uno de los productos elaborados en 2009 fue una propuesta para el manejo de los residuos generados al interior de las curtiembres, determinando los lineamientos de almacenamiento primario, transporte y almacenamiento en el centro de acopio-aprovechamiento. Adicionalmente se articularon al proyecto los trabajos "Análisis de Cómo Integrar a la cadena productiva las grasas obtenidas a partir del unche generado en la operación de descarte de la Industria de curtido y preparado de cueros " y el segundo estudiante es Manuel Álvarez de la Maestría en Ingeniería Ambiental, con la tesis "Obtención de grasa a partir de los residuos del descarte en el Proceso de curtido de las Curtiembres de Villapinzón por hidrólisis". De igual forma, estas entidades habían previsto evaluar las alternativas de aprovechamiento de residuos sólidos en los aspectos legal, técnico, económico y ambiental, seleccionar las alternativas que se adapten mejor a las condiciones existentes y diseñará la infraestructura y la distribución en la planta de acopio y aprovechamiento¹⁵.

Por otra parte, considerando el concepto de maximizar la reutilización de residuos sólidos de curtiembres en diversos usos industriales y la minimización del impacto ambiental que estos generan, existen investigaciones que han evaluado algunas aplicaciones de los subproductos obtenidos por la hidrólisis alcalina de las "virutas de cromo" generadas durante la etapa de rebajado en el procesamiento del cuero. En estas se concluyó que el hidróxido de cromo obtenido transformado en sulfato

¹⁴ibid.,

¹⁵ibid.,

de cromo monobásico puede reutilizarse en el procesamiento del cuero como sal curtiente. Al comparar su capacidad curtiente con el sulfato de cromo comercial, se determinó que puede emplearse en mezclas con esta sal, remplazándola hasta en un 40%, y con una basicidad del 33%. Para el hidrolizado de colágeno se evaluó la disminución del contenido de cromo por medio de variación del pH en el proceso de hidrólisis alcalina de las virutas, y el uso de materiales adsorbentes como bentonita, biomasa de alfalfa y sorgo, carbón activado, entre otros, obteniendo un porcentaje máximo de remoción de cromo del 55% al emplear los dos primeros adsorbentes¹⁶.

¹⁶ NARVÁEZ. (2006). Planeamiento y evaluación de la aplicaciones de los productos obtenidos en la hidrólisis alcalina de las virutas de cromo generadas durante el procesamiento del cuero. . Ingeniería e investigación Vo. 26 No.3, 0-8.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 NATURALEZA QUÍMICA DEL CROMO

El Cromo, de símbolo Cr, es un elemento metálico de color gris, brillo intenso y alta ductilidad y maleabilidad. Su masa atómica es 51,996; su punto de fusión es de 1.857 °C; su punto de ebullición de 2.672 °C y su densidad 7,2 g/cm³ (Manku, 1980). Se encuentra en la naturaleza casi exclusivamente en forma de compuestos, principalmente combinado con hierro y oxígeno, en el mineral cromita, PbCrO₄ (cromoferrita, pirita crómica)¹⁷.

Su densidad le otorga la característica de metal pesado y su ubicación en la tabla periódica, en la primera serie de los metales de transición, le confiere sus propiedades físicas y químicas. Entre ellas, una de las más importantes es que tiene varios estados de oxidación. Los estados de oxidación del cromo son -2, +2, +3 y +6. Los derivados de las valencias -2 y +2 tienen poca importancia y el 0 corresponde al cromo metálico. Los únicos compuestos de importancia bioquímica son los derivados de los estados de oxidación +3 y +6; al primer grupo pertenecen el óxido crómico y las sales crómicas como el cloruro crómico (CrCl₃) o el anión cromito (Cr(OH)₄⁻) y, al segundo grupo, el trióxido de cromo (CrO₃), y los cromatos (CrO₄⁼) y los dicromatos (Cr₂O₇⁼)¹⁸.

2.2 PRESENCIA DEL CROMO EN EL MEDIO AMBIENTE

El Cromo en general, se encuentra en niveles bajos en el ambiente y en condiciones normales, la exposición no representa ningún riesgo toxicológico. De manera natural el cromo proviene principalmente de la cromita y otros minerales que se encuentran en la corteza terrestre. Por esto, en el suelo, el aire y el agua se encuentran concentraciones de este metal a nivel de trazas¹⁹.

El cromo también se encuentra en la naturaleza porque ha sido introducido al ambiente por fuentes antropogénicas. Entre estas fuentes están la extracción de

¹⁷ MANAHAM. Op. Cit

¹⁸ ALBERTH, L. A. (1997). Introducción a la toxicología ambiental. Metepec. ECO p.227-46.

¹⁹ BOWEN, H. (1979). Environmental Chemistry of the elements. Academic Press. London.

compuestos de cromo a partir de los minerales, la industria química, colorantes, pigmentos, plaguicidas, el cromado electrolítico o galvánico, el curtido de cueros, el uso de compuestos de cromo mordiente en teñido de telas y otros usos menores como conservación de la madera, cerámica metálica, fotograbado, fabricación de cerillas, explosivos, etc.²⁰.

Los efluentes industriales que vierten cromo al ambiente se incorporan a los cuerpos de agua y, eventualmente, llegan al océano. La especie química de la mezcla dependerá de la concentración y disponibilidad de la materia orgánica en el agua. En presencia de grandes cantidades de materia orgánica, el cromo (VI) se reduce a cromo (III) y este último puede absorberse en el material en suspensión o formar complejos insolubles²¹. En ese estado, las asociaciones de cromo III pueden ser transportadas por el cuerpo de agua, o precipitar y ser incorporadas a los sedimentos²².

Los compuestos de cromo son ampliamente utilizados a nivel industrial (industria procesadora de cromita, aceros inoxidable, industrias galvánicas, curtido de cueros, textil y en diversos pigmentos, etc.); también se encuentra como impureza del cemento.

2.3 PRESENCIA DEL CROMO EN EL AGUA

Los metales traza de origen industrial pueden alcanzar los ambientes acuáticos a través de tres vías principales: la deposición de material particulado atmosférico, la escorrentía superficial, la lixiviación de suelos contaminados y la disposición de residuos industriales en cuerpos de agua.

A bajas concentraciones pueden afectar a los seres vivos y tienden a acumularse en la cadena alimentaria.

Todos los metales pesados existen en las aguas superficiales en forma coloidal, de partículas y en fases disueltas, pero, las concentraciones en disolución son bajas generalmente. El metal en partículas y coloidal puede encontrarse en:

²⁰Ibid. p.227-46

²¹ WHO-IPCS. (2005). Environmental Health Criteria. international Programme on Chemical Safety (IPCS). Washington DC.

²²BALKIS N & CAGATAY M. (2001). Factors controlling metal distributions in the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara. Turkey. Environmental International, 27(1). 1-13.

- Hidróxidos, óxidos, silicatos o sulfuros,
- Adsorbidos en la arcilla, en la sílice en la materia orgánica²³.

En el caso particular del Cromo en aguas naturales, el rango de concentración es bastante grande, va de 5,2 a 208,000 mg/l²⁴. Sin embargo, para la mayoría de las aguas naturales el valor recomendado para el agua potable es inferior a 50ug/L (Organización Mundial de la Salud, Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos²⁵).

El Cr puede existir bajo seis estados de oxidación como la mayoría de los metales de transición, pero en el rango de Eh-pH de las aguas naturales los únicos importantes son el cromo (III) y cromo (VI). En ambientes de bajo Eh, las principales especies acuosas son Cr^{3+} , $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$, $\text{Cr}(\text{OH})_3$ y $\text{Cr}(\text{OH})_4^{-26}$. Con un pH inferior a 3.6, el cromo (III) es la especie predominante. Bajo condiciones oxidantes, las principales especies son HCrO_4^- , CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ en función del pH y de la concentración de cromo²⁷.

2.4 CONCENTRACIONES DE CROMO EN EL SUELO Y VEGETALES

En el suelo existen elementos minoritarios que se encuentran en muy bajas concentraciones y al evolucionar la vida, adaptándose a estas disponibilidades, ha ocurrido que las concentraciones más altas de estos elementos se han vuelto tóxicas para los organismos²⁸.

Las concentraciones anómalas que se presentan en un suelo pueden tener causas naturales (por ejemplo, los suelos desarrollados sobre material parental,

²³ CASTILLO, C. (2010). Calidad del agua en la cuenca alta del río Luján. Herramientas para la gestión. Tesis de maestría en gestión de agua. centro de estudios transdisciplinarios del agua. Facultad de ciencias Veterinarias. Universidad de Buenos Aires.

²⁴ F.C, Richard, y Bourg A.C.M. (1991). Aqueous geochemistry of chromium: A review. *Water Research* 25(7).

²⁵ USEPA. (2006). Drinking Water Regulations and Health Advisories. EPA 822-B-96-002, USEPA Washington, DC.

²⁶ KÄLLQVIST, T. et al. (2008). Chronic toxicity of the Sava River (SE Europe) sediments and river water to the algae *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Water Res.* Article in press.

²⁷ *Ibid.*, 25(7).

²⁸ DAI, J., Becquer, T., Henri, J., Reversat, G., Bernhard-Reversat, F., Lavelle, F. (2004). Influence of heavy metal on C and N mineralization and microbial biomass in Zn, Pb, Cu and Cd contaminated soils. *Applied Soil Ecology*. Volume 25, (2). 99-109.

con altos contenidos en elementos como Cr, Ni, Cu y Mn); los metales pesados son muy estables en el suelo y en el proceso natural de transformación de las rocas para originar a los suelos suelen concentrarse, pero, en general, sin rebasar los umbrales de toxicidad, además los metales pesados presentes en las rocas se encuentran bajo formas muy poco asimilables para los organismos. (Manaham, 2002)

En los suelos, los más abundantes son el Mn, Cr, Zn, Ni y Pb (1-1.500 mg/kg; el Mn puede llegar a 10.000 mg/kg). En menores concentraciones se encuentran el Co, Cu y As (0,1-250 mg/kg) y con mínimos porcentajes el Cd y Hg (0,01-2 mg/kg)²⁹.

El contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogénicos que dan lugar al suelo. Pero la actividad humana incrementa el contenido de estos metales en cantidades considerables, siendo esta, sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas.

El contenido natural de cromo en suelos superficiales varía ampliamente y depende fuertemente del tipo de roca madre a partir del cual se haya formado (Manaham, 2002). Histosoles y otros suelos orgánicos tienen contenidos de Cr relativamente bajos. También los suelos arenosos suelen contener relativamente poco cromo. No obstante, existen suelos que de forma natural contienen mucho más cromo. Estos suelos derivan de rocas ultramáficas o máficas muy ricas en el metal. Son los llamados suelos serpentinos (poco productivos para agricultura)³⁰.

Se ha observado la oxidación de cromo (III) a cromo (VI), probablemente debida a la capacidad oxidativa de Mn oxidado. Esta oxidación parece favorecerse a pH bajo, debido a la participación de protones en la mayoría de los procesos implicados en la oxidación del cromo y la reducción del Mn. El estudio desarrollado por Gonzáles, (2002) no pudo hallar oxidación de cromo (III) a cromo (VI) en suelos ricos en humus o en suelos libres de humus, pero si encontró evidencias de liberación de cromo (VI) a partir de polvo de cuero curtido con cromo (III) en vermiculita y en suelos limosos pobres en humus, a pH 8-8,5 y humedad relativa del 95%. Estos resultados indican que parecen posibles problemas de toxicidad de

²⁹MANAHAM. Op. Cit.

³⁰FERNÁNDEZ Y GUZMÁN. (2000). Presencia Antropogénica de Cromo (Cr) en el Ambiente y su Impacto en la Salud de los Pobladores de las Toscas (Santa Fe - Argentina). Ambiente Ecológico. Edición 72.

romo en suelos esterilizados mediante calor, o en suelos alcalinos, pobres en materias orgánicas y con alto contenido en humedad³¹.

Por regla general la contaminación por cromo del agua superficial y de los sedimentos no suele repercutir de forma peligrosa en los niveles de cromo en el agua subterránea, debido a la retención del cromo por las partículas del suelo durante el proceso de infiltración. No obstante, en ocasiones se ha observado contaminación por cromo (VI) en aguas subterráneas, causando problemas en el abastecimiento de agua potable³².

Teniendo en cuenta lo expresado, el estado de oxidación, (III) o (VI) y la solubilidad del cromo determinan largamente la peligrosidad del cromo presente en los suelos. Por ello el conocimiento de los factores que rigen la forma química del cromo en el suelo es de gran importancia sanitaria y ambiental.

Con respecto al material vegetal, las investigaciones recientes no reportan si este metal es un nutriente esencial para las plantas, pero se encontró que ellas contienen cantidades que pueden ser detectadas por análisis instrumental. Las plantas que han crecido en suelos no contaminados, contienen cromo en concentraciones aproximadas a 0,2 mg/Kg. En suelos contaminados, estas concentraciones se elevan hasta alrededor del 0,5% en peso³³.

2.5 FUENTES DE CROMO EN COLOMBIA

En Colombia, las fuentes importantes de contaminación de cromo están relacionadas con el ambiente ocupacional. Con el crecimiento de las actividades industriales, las fuentes de contaminación por cromo y otros metales han aumentado considerablemente. Las principales actividades que involucran la contaminación de cromo en Colombia son la industria procesadora de pieles y la industria electroquímica. La primera es la que vierte mayores cantidades de estos residuos al ambiente³⁴.

³¹ GONZÁLES, Pimentel, S., Andrade, M., Marcet, P. (2000). Adsorción específica de cromo por distintas fracciones del suelo. Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. Universidad de Vigo.

³² MANAHAM. Op. Cit.

³³ ALBERTH, L. A. (1997). Introducción a la toxicología ambiental. Metepec. ECO p.227-46.

³⁴ CNPL. (2003). Centro Nacional de Producción más limpia. Proyecto ambiental en la industria de curtiembre en Colombia: Diagnostico y estrategias.

Las primeras actividades del sector curtiembres en Colombia datan de los años veinte en Antioquia y en los años cincuenta se establecieron curtiembres en los municipios de Villa Pinzón y Chocontá en el departamento de Cundinamarca. Posteriormente algunos productores de esta última región se desplazaron a las afueras de Bogotá cerca al río Tunjuelito, zona conocida actualmente como San Benito. Posteriormente, se establecieron empresas productoras de en los departamentos de Nariño, Quindío, Risaralda, Cundinamarca, Antioquia, Atlántico, Valle del Cauca, Tolima, Bolívar, Santander y Huila³⁵.

Debido a la naturaleza del proceso de curtición y a las prácticas artesanales de una gran parte de estos industriales, se generan problemas ambientales que afectan los diferentes componentes del ambiente, los ecosistemas se ven afectados por la gran cantidad de insumos involucrados en el proceso productivo así como la naturaleza misma de las pieles que aportan una alta carga orgánica a los vertimientos; adicionalmente, algunos subproductos y residuos se vierten frecuentemente con las aguas residuales a la red de alcantarillado o a los cuerpos de agua. Además, los sólidos insolubles ocasionan el taponamiento de las redes de alcantarillado y sedimentación en los cuerpos de agua³⁶.

Un diagnóstico realizado en 2003, por el Centro Nacional de Producción más Limpia (CNPL), reporta que solo un 2% de las industrias de este sector asentadas en el país cuentan con sistemas de depuración de sus efluentes. Las restantes vierten sus residuos a los cuerpos de agua sin tratamiento previo, ocasionando una notable disminución en la calidad del recurso.

El proceso de las pieles en nuestro país obedece en su mayoría a procedimientos artesanales, sin optimización de los recursos, generando de esta manera mayor cantidad de residuos³⁷. Por lo tanto, todas las iniciativas que contribuyan a la solución de este problema, son pertinentes en el desarrollo sostenible de nuestras regiones.

³⁵ JAIMES A. y Hernández C. (2009). Alteraciones Visuales/Oculares y niveles de Cr en sangre de los trabajadores de la curtiembre Colombo - Italiana de Villa Pinzón (Cundinamarca). Tesis de grado. Facultad de Ciencias de la visión. Universidad de La Salle.

³⁶ DAMA. (2004). Departamento técnico de administración del medio ambiente. políticas ambientales distritales. Secretaria distrital de ambiente. Alcaldía Mayor de Bogotá.

³⁷ CNPL, 2003. Op.Cit.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DETERMINACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CROMO AL SUELO

3.1.1 Toma y preparación de muestras.

Bloque de concreto: Se elaboraron bloques de concreto mezclado con viruta de cuero de tamaño 5cmx5cmx5cm como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Elaboración de cubos 5x5x5cm



Suelo: las muestras de suelo se colectaron de las excavaciones del bloque de la universidad de Nariño, sede Torobajo de manera aleatoria entre los 0 y 60 cm de profundidad. Una vez colectadas se mezclaron cuidadosamente y se redujo el tamaño de las partículas más grandes. Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente, extendiendo la muestra de suelo sobre una superficie no contaminante.

3.1.2 Caracterización de la muestra de suelo. Se llevó al laboratorio las muestras de suelo y se determinó los siguientes parámetros: pH, Materia Orgánica y Textura.

pH: se determinó a partir de una mezcla de 5 partes de agua destilada y una parte de suelo (pasta de saturación), homogeneizando por agitación durante 15 minutos. En esta mezcla se introduce el electrodo del pH para obtener el valor de este parámetro.

Materia orgánica: para la determinación de materia orgánica (MO), las muestras de suelo se secaron en estufa a 60 ° C, se muelen en mortero de ágata y se pasaron a través de un tamiz de 0,200 mm. La MO se determinó por oxidación de 1 g de muestra con 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1 N y 20 ml de H_2SO_4 concentrado, titulando con $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$ 0,5 N y fenantrolina como indicador.

Textura: la determinación se realizó por el procedimiento de Bouyoucos. En general, el problema es separar los agregados y analizar sólo las partículas individuales. Con el método utilizado se elimina la agregación debida a materia orgánica y la floculación debida a los cationes Ca y Mg. No se eliminan otros cementantes como carbonatos. El tiempo de lectura se ha escogido de 40 segundos para la separación de partículas mayores de 0,05 mm (arena) y de 2 horas para partículas de diámetro mayores de 0,002 mm (limo y arena). Estos límites han sido establecidos por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos y se han usado para construir el triángulo de texturas (USDA, 1996). Se determinó el porcentaje de las fracciones arena, limo y arcilla que se expresan en porcentaje (%), ingresando con estos porcentajes al triángulo textural se determinó la clase textural de cada suelo.

3.1.3 Montaje del experimento. Para evaluar la posibilidad de que el metal abandone el prefabricado de concreto y pueda movilizarse al suelo se midió la variación de la concentración de cromo en suelo en un diseño factorial 3x2, en el cual se pretende analizar el efecto del tiempo de permanencia del bloque de concreto en el suelo a dos niveles de profundidad según se indica en la siguiente tabla. (Tabla 1)

Tabla 1. Diseño factorial 3x2

		TIEMPO DE PERMANENCIA		
		1° mes (A ₁)	2° mes (A ₂)	3° mes (A ₃)
Profundidad	0 cm (B ₁)	A ₁ B ₁	A ₂ B ₁	A ₃ B ₁
	15 cm (B ₂)	A ₁ B ₂	A ₂ B ₂	A ₃ B ₂

De las muestras de suelo secas se distribuyeron 1 kg en recipientes de polietileno. En estos se depositaron los bloques de concreto sobre la superficie y a 15 cm de la superficie, como se observa en la figura 2, se realizaron medidas de la cantidad de cromo en el suelo al inicio del experimento, una vez transcurridos 1, 2 y 3 meses. Se calculó la variación de la concentración de metal en la muestra.

Figura 2. Cubos puestos en la superficie y enterrados a 15cm de profundidad



3.1.4 Determinación de Cromo total en el suelo. Para la determinación de Cromo, se realizó digestión ácida de 1 g de suelo con 15 ml de HNO₃ concentrado se deja actuar por dos horas y se agregan 15 ml de HClO₄. Se deja en reposo por 24 horas y se procede a evaporar en baño de arena hasta una consistencia siruposa. El procedimiento anterior se repite con 10 ml de HNO₃ y 10 ml de HClO₃. El residuo se re disolvió con 5 ml de HNO₃ y 5 ml de agua destilada, se

caliente por media hora, se filtra y se afora con agua a 50 ml, la cuantificación de Cromo contenido en la muestra digerida se realizó por espectroscopia de absorción atómica.

3.2 DETERMINACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CROMO AL AGUA

Las muestras de concreto se sometieron a fraguado durante 28 días, como se muestra en la figura 3, tanto para las esmaltadas (muestras impermeabilizadas con cemento) como para la no esmaltada. Luego se tomaron recipientes de vidrio, como se ve en la figura 4. Se purgaron con el agua de fraguado y posteriormente se tomó una cantidad considerable de muestra de cada uno de los experimentos para ser llevadas a laboratorio y cuantificar el contenido de cromo existente.

Figura 3. Fraguado de cubos para evaluar la transferencia de cromo al agua



Figura 4. Toma muestra de agua de los cubos fraguados



3.3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA Y CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ LIBRE.

3.3.1 Equipo.

Máquina de ensayo: compuesto por consola de mando con indicación y control. Prensa hidráulica de alta estabilidad, cadenciómetro luminoso para indicación de la velocidad de aplicación de carga, teclado de membrana, y botón de parada de emergencia. Programable para ensayos a compresión de cilindros, cubos, briquetas de concretos, ladrillos y bloques; según normas ASTM, ISO. AASTHO y NTC.

Figura 5. Máquina de ensayo



El operario selecciona el ensayo y los parámetros del ensayo y con solo presionar una tecla, el ensayo se inicia. Cuando la muestra falla se detiene, se memorizan los resultados de ensayo y la prensa vuelve a quedar lista para el siguiente ensayo. Durante el ensayo se indica la fuerza, el esfuerzo y velocidad de aplicación de carga.

Memoria para 556 ensayos. Guarda: Fecha, hora, tipo de ensayo, fuerza máxima, esfuerzo y velocidad de ensayo. Fácil consulta e impresión posterior. Salida de datos vía RS232, para impresión de resultados de ensayo (Se imprimen todos los parámetros del ensayo) en impresoras, o registro continuo en PCs.

LA PRENSA (bastidor de carga), está hecha en acero macizo, de alta estabilidad, con rejillas y finales de carrera para protección; platos de carga de 250 mm de diámetro.

Figura 6. Vigas para ensayo a flexión



El espécimen de ensayo cumple con los requisitos de la norma INV E-402-13. La muestra tiene una altura de 154mm, una longitud total de 534mm y una distancia entre apoyos de 484mm como se muestran en la figura 6. Todos los valores anteriores en promedio. Los lados de la viga forman ángulos rectos con las caras superior e inferior. Todas las superficies son lisas y libres de huellas, muescas, agujeros e inscripciones.

Figura 7. Vigas



3.3.2 Procedimiento. Cuando se ensayaron los especímenes moldeados, se giró la muestra sobre un lado con respecto a su posición de moldeo y se centró sobre los bloques de carga. Se situaron los bloques de aplicación de carga en contacto

con la superficie del espécimen en los puntos tercios entre los soportes y se aplicó una carga entre el 3% y el 6% de la carga última estimada.

Todo el procedimiento se rige de acuerdo con la norma INV E-403.

La carga se debe aplicar de manera continua sin cambios bruscos de velocidad, a una velocidad que incremente constantemente el esfuerzo sobre la cara en tensión entre 0.9 y 1.2 MPa/min (125 y 175 lbf/pg² /min), hasta que ocurra la rotura (figura 1). La velocidad de carga se calcula con la siguiente ecuación:

$$r = \frac{Sbd^2}{L}$$

Dónde:

r = rata de carga, N/min (lbf/min),

S = rata de incremento en el esfuerzo máx. sobre la cara en tensión, MPa/min (lbf/pg²/min),

b = ancho promedio de la muestra, mm (pulg),

d = altura promedio de la muestra, mm (pulg), y

L = longitud de la luz de la muestra, mm (pulg),

3.3.3 Medición de la muestra después del ensayo. Se tomaron tres medidas de cada dimensión (una en cada borde y en el centro) con una precisión de 1.3 mm (0.05") para determinar el ancho promedio, la altura promedio y la localización de la línea de fractura del espécimen en la sección de falla, como se muestra en la figura 8.

Figura 8. Falla viga a flexión apoyada en los tercios de la luz libre



3.3.4 Cálculos. Debido a que la fractura se inicia en la zona de tensión, dentro del tercio medio de la luz libre, el módulo de rotura se calculó de la siguiente forma:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

R = módulo de rotura MPa (psi),

P = máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo N (lbf),

L = luz libre entre apoyos mm, (pulg),

b = ancho promedio del espécimen en el sitio de la fractura mm, (pulg), y

d = altura promedio de la muestra en el sitio de la fractura mm, (pulg).

La presentación de resultados y demás condiciones se rigieron de acuerdo a la norma INV E – 414–13

3.4 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA Y CARGADA EN EL PUNTO CENTRAL

Equipo

Máquina de ensayo. Se usa la misma máquina de ensayo descrita en el numeral anterior.

Muestreo. El espécimen de ensayo cumple con la norma INV E-402-13 al igual que en el numeral 6.3.2.

Procedimiento. Se giró la muestra sobre un lado con respecto a su posición de moldeo y se centra sobre los bloques de carga. Se centra el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada. Se ponen los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en los puntos tercios, entre los soportes y se aplica una carga entre el 3% y el 6% de la carga última estimada.

Todo el procedimiento se manejó de acuerdo con la norma INV E-414.

La carga se aplicó de manera continua sin sobresaltos, a una rata que incremente constantemente el esfuerzo de la fibra extrema entre (0.9 Mpa/min y 1.2 Mpa/min), hasta que ocurrió la rotura. La rata de incremento de la carga se calculó usando la siguiente ecuación:

$$r = \frac{2Sbd^2}{3L}$$

Donde:

r = rata de carga N/min (lb/min),

S = rata de incremento de la tensión en la fibra extrema Mpa/min (psi/min),

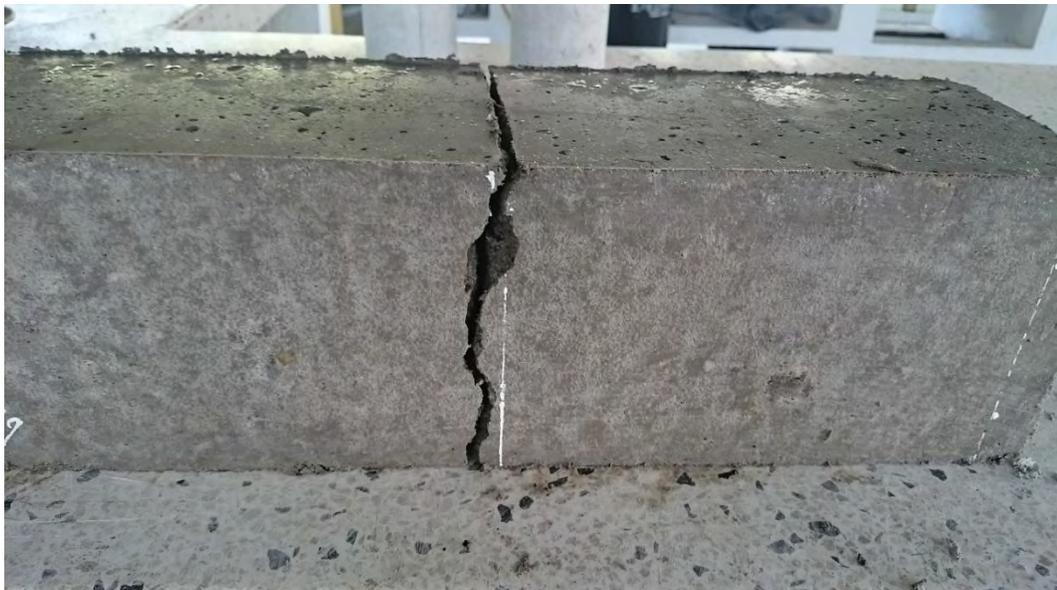
b = ancho promedio de la muestra (mm), (pulg),

d = altura promedio de la muestra (mm), (pulg), y

L = longitud de la luz libre de la muestra (mm), (pulg).

3.4.4 Mediciones del espécimen después del ensayo. Se tomaron tres medidas a lo largo de cada dimensión (una en cada borde y una en el centro) con una precisión de 1.3 mm (0.05") para determinar el ancho y la altura promedio del espécimen, y el punto de fractura, como se muestra en la figura 9.

Figura 9. Falla viga a flexión apoyada en el punto central



Cálculos. Se calcula el módulo de rotura de la siguiente manera:

$$R = \frac{3pl}{2bd^2}$$

Donde:

R = módulo de rotura, MPa (psi),

P = máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo, N (lbf),

l = longitud de la luz libre entre apoyos, mm (pulg),

b = ancho promedio del espécimen en el punto de fractura, mm (pulg), y

d = altura promedio del espécimen, en el punto de fractura mm (pulg).

La presentación de resultados y demás condiciones se manejó de acuerdo a la norma INV E-415-13.

También se rige con la norma NTC 4076: unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería no estructural interior y chapa de concreto.

4. ESTUDIOS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Con el fin de conocer la composición estructural del concreto, se pulverizó en molino de bolas una muestra de los bloques de concreto y se tamizó con malla 200. El polvo resultante se embolsó en recipientes ámbar que posteriormente fueron enviados al laboratorio de Química estructural y materiales de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO

Los resultados de la determinación de las características del suelo se resumen en la tabla 2:

- Ph:6,8
- Materia orgánica: 0,78%
- Textura:

Tabla 2. Resultados análisis de textura

Análisis		Resultado	Unidades	Método
Textura	arena	66,97	%	Textura Bouyucus
FRANCO ARENOSO	Limo	24,13	%	Textura Bouyucus
Clase textural USDA	Arcilla	8,90	%	Textura Bouyucus

5.2 TRANSFERENCIA DE CROMO AL SUELO

Una vez colectada la muestra se procedió a medir el nivel de cromo inicial del suelo con el cuál se trabajarían los ensayos descritos. La concentración de cromo en el suelo fue de 28,27 ppm

A fin de determinar si ocurría la transferencia del metal del cubo de concreto a la matriz suelo, se hizo el montaje de los experimentos tal como se describe en la metodología y se obtuvieron los resultados presentados en la siguiente tabla:

Tabla 3. Transferencia de cromo al suelo

Muestra	1° mes (ppm)	2° mes (ppm)	3° mes (ppm)
Superficial	22,92	20,16	20,38
Introducida a 15 cm	23,75	19,34	21,17
Esmaltada	23,57	14,86	19,34

De los resultados de la tabla se puede apreciar que en todos los ensayos los valores del metal son menores a los encontrados inicialmente.

Gráfica 1. Variación de la concentración de cromo con respecto al tiempo



Los resultados de las pruebas de caracterización del suelo utilizado para medir la transferencia de cromo como se muestra en la tabla 3, indican que esta matriz presenta un pH neutro, un bajo porcentaje de materia orgánica y una textura propia de un material Franco Arenoso, según lo establecido por el ICA (Instituto Colombiano agropecuario) para la clasificación del suelo, y que se reseña en las siguientes tablas:

Tabla 4. Clasificación del porcentaje de materia orgánica en suelo según el clima

Materia Orgánica Según el Clima (%)			
FRIJO	< de 5	5-10	> de 10
MEDIO	< de 3	3-5	> de 5
CALIDO	< de 2	2-3	> de 3

Tabla 5. Clasificación según valores de pH del suelo

pH	
Valor	Categoría
< de 5,5	Extremadamente ácido
5,5-5,9	Moderadamente ácido
6,0-6,5	Adecuado
6,6-7,3	Neutro
7,4-8,0	Alcalino
> de 8	Muy alcalino

Tabla 6. Clasificación de suelos según su textura

CLASIFICACION DE LOS SUELOS					
Textura	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	
Textura gruesa	86-100	0-14	0-10	Arenoso	Suelos arenosos
	70-86	0-30	0-15	Arenoso franco	
Textura moderadamente gruesa	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso	Suelos francos
Textura media	23-52	28-50	7-27	Franco	
	20-50	74-88	0-27	Franco limoso	
	0-20	88-10	0-12	Limoso	
Textura moderadamente fina	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso	
	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso	
	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso	
Textura fina	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso	Suelos arcillosos
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso	
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso	

En las tres presentaciones de transferencia de cromo al suelo, se observa una disminución del contenido de cromo en las muestras de suelo cuando ha transcurrido un mes de ensayo, desciende nuevamente en el segundo mes y en el tercer mes hay un ascenso de 0,22 ppm para el ensayo donde se ubicó el bloque en la superficie del suelo; 1,83 ppm para el ensayo donde se introdujo el bloque a 15 cm y de 4,48 para la muestra del bloque esmaltado. En la gráfica 1 se observan las diferencias en la concentración de cromo en los diferentes meses, con respecto a la medida realizada inicialmente.

Se puede señalar que estas disminuciones de la concentración del metal indican que la presencia del bloque en la matriz no contribuye a aumentar los niveles del metal en el suelo, porque en todas las experiencias el valor evaluado en las distintas muestras y en distintos periodos de tiempo arroja una concentración menor a la medida en el suelo sin tratamiento.

Hay evidencia científica, revelada en varios estudios, que demuestra que los metales pesados en suelos pueden disminuir su concentración debido a procesos de adsorción, de complejación y de precipitación, ser absorbidos por las plantas o presentar pérdida por percolación o escorrentía³⁸.

También es importante señalar que la disminución de metales pesados en suelo, en particular en el caso del Cromo, está relacionada a los siguientes factores: 1. la presencia de materia orgánica por su capacidad de formar quelatos estables; 2. valores de pH superiores a 6, por lo cual se disminuye la solubilidad del metal y precipita 3. El aporte de sales que forman compuestos insolubles con los metales, como es el caso de los fosfatos y 4. La presencia de materiales silicatados que forman complejos con el metal, capturándolo³⁹. En consonancia con los resultados de la caracterización del suelo, se puede notar que el valor del pH medido en la muestra, es un importante factor que condiciona la movilidad y disponibilidad del metal. A $\text{pH} < 5,5$ predominan los productos de hidrólisis del Cr, principalmente el $\text{Cr}(\text{OH})_2 + \text{aq}$ ⁴⁰. Esta forma es fácilmente adsorbida sobre las arcillas del suelo y su adsorción se intensifica por el incremento del pH, puesto que, se generan cargas negativas en la superficie de las arcillas, lo cual se traduce

³⁸ PETERSON, P; Girling, C. (1981). Other trace metals. London: En: Leep, NW Ed. Effect of heavy metal pollution on plants. Vol 1: Effect of trace metals on plants function. Applied Science Publishers. 325p.

³⁹ LORA R. (2007). contaminación por micronutrientes y posibles soluciones. Rev. UDCA Act y Div Cientí, 7(1):5: 20-20.

⁴⁰ RITCHIE G.S.P., Sposito, G. (1995). Speciation in soils in: Ure, AM., Davison, C.M (eds). Chemical speciation in the environment. Blackie Academic and professional, London, 201-203.

en una disminución de la biodisponibilidad del metal pudiendo ser un factor que contribuyan a la disminución del metal en la muestra a través del tiempo.

Como se referenció anteriormente, un cambio en los factores ambientales puede modificar la presencia del metal, liberándolo en el caso de que este haya formado algún compuesto o aumentando su solubilidad. Un cambio en las condiciones ambientales como pH o temperatura podría explicar la diferencia en la concentración de cromo en el tercer mes de estudio.

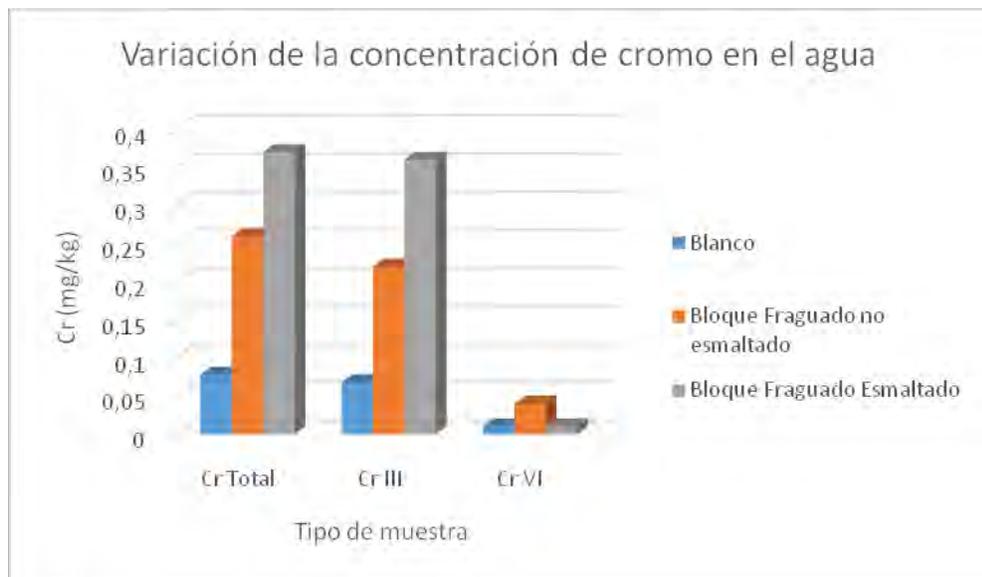
5.3 TRANSFERENCIA DE CROMO AL AGUA

Para evaluar si existe transferencia o no del metal al agua, se realizó un estudio como indica la metodología, arrojando los siguientes resultados:

Tabla 7. Transferencia de Cr al agua

Muestra	Cr Total(ppm)	Cr III(ppm)	Cr VI(ppm)
Blanco	0,078	0,068	0,01
Bloque Fraguado no esmaltado	0,26	0,22	0,04
Bloque Fraguado Esmaltado	0,37	0,36	0,01

Gráfica 2. Variación de la concentración de cromo en el agua



Se cuantificó la concentración inicial de Cr en agua y una vez desarrollada la metodología se midió Cr total y Cr VI cómo se menciona en el apartado de

métodos. Teniendo en cuenta que en estado natural las únicas especies de Cromo presentes son (III) y (VI), la concentración de Cr (III) se calcula como la diferencia entre el Cromo total y el Cromo (VI).

Si bien los datos de la figura 10 y tabla 8 indican que el metal se transfiere al agua, los valores encontrados son menores a las concentraciones de Cr en agua que varias agencias internacionales que regulan los límites de emisión de contaminantes establecieron para Cr, que es de 0,5 ppm. Por lo tanto, se puede afirmar que los niveles de transferencia en el método estudiado se consideran seguros. Por otra parte, se observa que las condiciones del ensayo no favorecen la especiación y que el mayor porcentaje de este corresponde a Cr (III) que es la especie menos nociva del metal.

Se puede apreciar que los niveles de cromo son superiores en las muestras en las que se introdujo el bloque de concreto en el agua. En el caso del bloque fraguado, pero no esmaltado, los niveles totales de Cr ascienden a 0,26 ppm. En cuanto a las especies químicas el 84,62% del metal está en forma de Cr (III), es decir la especie menos tóxica y la que corresponde a la sal metálica que se usa en el proceso de curtido, por lo tanto, la que está presente en la viruta de cuero. Si se observan los datos del bloque esmaltado, la concentración de cromo total es 0,37 ppm superior a la muestra del bloque fraguado. En este caso también se encuentra que la especie más abundante es la de Cr (III).

5.4 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO

5.4.1 Caracterización de los materiales.

AGREGADO FINO

Granulometría. La muestra de agregado fino se hace pasar por una serie de tamices, como se muestra en la figura 11, que tienen aberturas cuadradas y cuyas características deben ajustarse con la norma NTC 32. Actualmente la designación de tamices se hace de acuerdo a la abertura de la malla, medida en milímetros o micras. Esta norma incluye algunos tamices intermedios que no cumplen la relación 1:2 de la abertura, pero se usan frecuentemente para evitar intervalos muy grandes entre dos mallas consecutivas. El tamizado debe efectuarse cumpliendo la norma NTC 77 en la que se describe el tamaño de la muestra a ensayar y el procedimiento a seguir para realizar un análisis granulométrico. La

arena procede de la cantera Armenia ubicada a 3,7km vía a Ipiales desde la ciudad de Pasto. Los resultados fueron los siguientes.

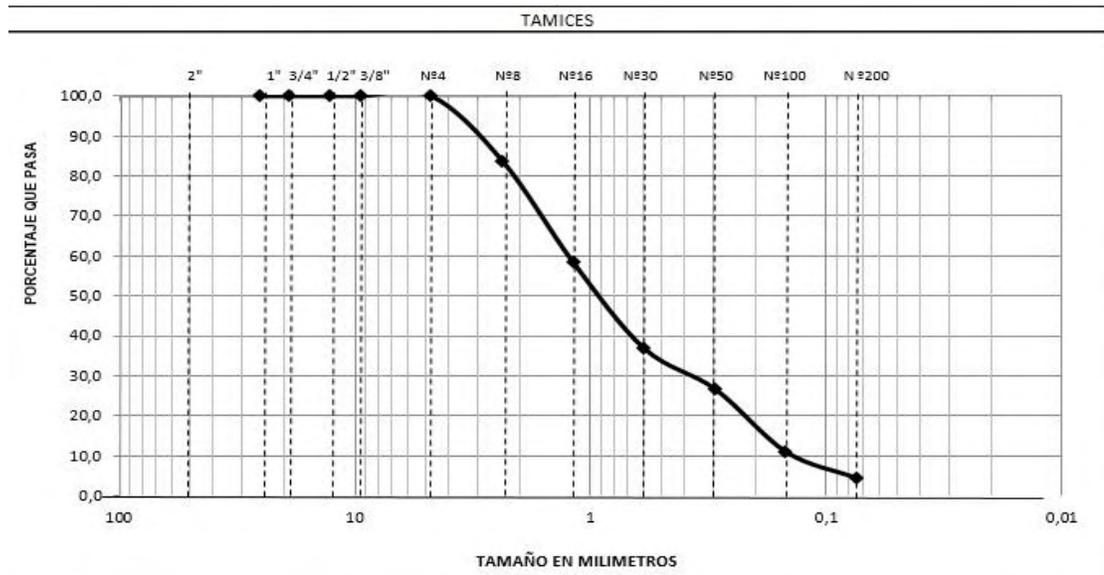
Figura 10. Granulometría agregado fino



Tabla 8. Granulometría del agregado fino

GRADACIÓN					
Peso inicial	2956		Peso lavado	0	
Tamiz	Tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% RetAcum	% Pasa
1"	25,4	0	0,00	0,0	100,0
3/4"	19	0	0,00	0,0	100,0
1/2"	12,7	0	0,00	0,0	100,0
3/8"	9,51	0	0,00	0,0	100,0
Nº4	4,76	0	0,00	0,0	100,0
Nº8	2,38	478,3	16,18	16,2	83,8
Nº16	1,19	753,2	25,48	41,7	58,3
Nº30	0,595	637,4	21,57	63,2	36,8
Nº50	0,297	302,2	10,23	73,5	26,5
Nº100	0,149	463,3	15,68	89,1	10,9
Nº200	0,075	193,4	6,54	95,7	4,3
P.Nº200		127,7	4,32	100	

Gráfica 3. Granulometría agregado fino



De los anteriores datos se puede determinar el módulo de finura que permite estimar que tan fino o grueso es un material. Está definido como la centésima parte de un número que se obtiene al sumar los porcentajes retenido acumulados en la siguiente serie de tamices: N°100 - N°50 – N°30 – N°16 – N°8 – N°4 – 3/8" - 3/4" - 1/2" y los tamices siguientes cuya abertura está en relación 1 a 2.

El módulo de finura se puede calcular a cualquier material, sin embargo, se recomienda determinarlo al agregado fino y según su valor, este agregado se puede clasificar tal como se presenta en la siguiente tabla. (Tabla 9)

Tabla 9. Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor de módulo de finura

MODULO DE FINURA	AGREGADO FINO
Menor que 2,00	Muy fino o extra fino
2,00-2,30	Fino
2,30-2,60	Ligeramente fino
2,60-2,90	Mediano
2,90-3,20	Ligeramente grueso
3,20-3,50	Grueso
Mayor que 3,50	Muy grueso o extra grueso

De los datos obtenidos se dice que:

$$\text{Módulo de finura} = \left(\sum \% \text{ retenido acumulado} \right) * 100$$

$$\text{Módulo de finura} = 16,2 + 41,7 + 63,2 + 73,5 + 89,1 + 95,7 = 3,79$$

De este valor se concluye que la arena es **muy gruesa o extra gruesa**.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN. De acuerdo con procedimientos de la norma ICONTEC 237 obtenemos los siguientes resultados:

Figura 11. Peso específico y absorción del agregado fino



Tabla 10. Peso específico y absorción del agregado fino

Peso muestra seca + recipiente	gr	585	582,4
Peso recipiente	gr	295,6	293,2
Peso muestra seca	gr	289,4	289,2

ENSAYO N°		1	2	3	Promedio
Temperatura de ensayo	°C	19	18,4		18,70
Peso de la muestra sss	W _{sss}	300	300		300,00
Peso matraz + agua	W _{ma}	1203,3	1218,4		1210,85
Peso matraz + agua + muestra	W _{mam}	1381,4	1396,3		1388,85
Peso muestra seca	W _s	289,4	289,2		289,30

Densidad Nominal = $W_s / W_s + W_{ma} - W_{mam}$	gr/cm³	2,600	2,598	2,60
Densidad Aparente = $W_s / W_{sss} + W_{ma} - W_{mam}$	gr/cm³	2,374	2,369	2,37
Densidad Aparente SSS = $W_{sss} / W_{sss} + W_{ma} - W_{mam}$	gr/cm³	2,461	2,457	2,46
Absorción = $(W_{sss} - W_s / W_s) * 100$	%	3,66	3,73	3,70

de aquí: Densidad aparente seca (sss) = 2,46 gr/cm³

Absorción = 3,70%.

MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTADA. De acuerdo con los procedimientos de la norma ICONTEC 92 se obtuvo los siguientes resultados:

Figura 12. Masa unitaria suelta y compactada del agregado fino



Tabla 11. Masa unitaria suelta del agregado fino

masa unitaria suelta		
peso recipiente	gr	8244
Diámetro recipiente	cm	15,2
Altura recipiente	cm	16,5
Volumen	cm ³	787,91

Ensayo	Peso recipiente lleno (gr)	Peso muestra (gr)
1	12179	3935
2	12151	3907
3	12223	3979
4	12198	3954
5	12216	3972
Promedio		3949,4

$$Masa\ unitaria\ suelta = \frac{\text{promedio peso muestra (gr)}}{\text{volumen del recipiente (cm}^3\text{)}} = \frac{3949,4\text{gr}}{787,91\text{cm}^3} = 5,01\text{gr/cm}^3$$

Tabla 12. Masa unitaria compactada del agregado fino

masa unitaria compactada		
peso recipiente	gr	8385
Diámetro recipiente	cm	15,2
Altura recipiente	cm	16,5
volumen	cm ³	787,91

Ensayo	Peso recipiente lleno (gr)	Peso muestra (gr)
1	12577	4192
2	12657	4272
3	12744	4359
4	12536	4151
5	12745	4360
Promedio		4266,8

$$\text{Masa unitaria compact.} = \frac{\text{promedio peso muestra (gr)}}{\text{volumen del recipiente (cm}^3\text{)}} = \frac{4266,8\text{gr}}{787,91\text{cm}^3} = \frac{5,42\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

AGREGADO GRUESO

Granulometría: para el proyecto, se utilizó grava procedente de la cantera **San Javier** ubicada a 8,7 km vía a Genoy desde la ciudad de Pasto. Cumpliendo la norma NTC 77, obteniendo los siguientes resultados.

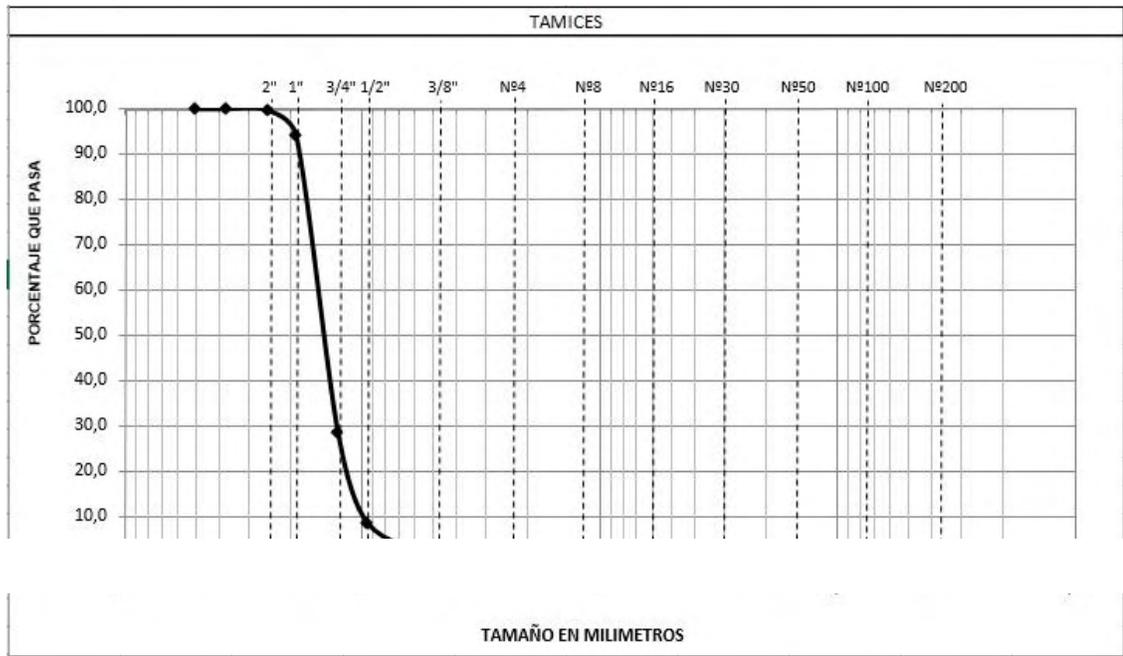
Figura 13. Granulometría agregado grueso



Tabla 13. Granulometría del agregado grueso

GRADACIÓN					
Peso inicial	11523				
Tamiz	Tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% RetAcum	% Pasa
2"	50,8	0	0,00	0,0	100,0
1½"	38,1	0	0,00	0,0	100,0
1"	25,4	23,5	0,20	0,2	99,8
¾"	19	656,5	5,70	5,9	94,1
½"	12,7	7530,6	65,35	71,3	28,7
⅜"	9,51	2330,0	20,22	91,5	8,5
Nº4	4,76	912,1	7,92	99,4	0,6
Pasa Nº4		70,0	0,61	100,0	

Gráfica 4. Granulometría del agregado grueso



MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTADA. De acuerdo con los procedimientos de la norma ICONTEC 92 se obtuvo los siguientes resultados:

Figura 14. Masa unitaria suelta y compactada del agregado grueso



Tabla 14. Masa unitaria suelta del agregado grueso

Masa unitaria suelta		
peso recipiente	gr	3720
Ancho recipiente	cm	27,13
Altura recipiente	cm	25,6
largo recipiente	cm	26,6
Volumen	cm ³	18474,44

Ensayo	Peso recipiente lleno (gr)	Peso muestra (gr)
1	27880	24160
2	28040	24320
3	27950	24230
4	28230	24510
5	28210	24490
Promedio		24342

$$\begin{aligned}
 \text{Masa unitaria suelta} &= \frac{\text{promedio peso muestra (gr)}}{\text{volumen del recipiente (cm}^3\text{)}} = \frac{24342\text{gr}}{18474,44\text{cm}^3} \\
 &= 1,32\text{gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Tabla 15. Masa unitaria compactada del agregado grueso

Masa unitaria compactada		
peso recipiente	gr	3720
Ancho recipiente	cm	27,13
Altura recipiente	cm	25,6
largo recipiente	cm	26,6
volumen	cm ³	18474,44

Ensayo	Peso recipiente lleno (gr)	Peso muestra (gr)
1	30020	26300
2	29860	26140
3	29910	26190

4	29911	26191
5	29912	26192
Promedio		26202,6

$$\begin{aligned}
 \text{Masa unitaria compac.} &= \frac{\text{promedio peso muestra (gr)}}{\text{volumen del recipiente (cm}^3\text{)}} = \frac{26202,6\text{gr}}{18474,44\text{cm}^3} \\
 &= 1,42\text{gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN. De acuerdo con los procedimientos de la norma ICONTEC 176 se obtuvo los siguientes resultados:

Figura 15. Gravedad específica y absorción del agregado grueso



Tabla 16. Gravedad específica y absorción del agregado grueso

ENSAYO N°		1
Temperatura de ensayo	°C	
Peso de la muestra sssW _{sss}	gr	5624,9
Peso de la muestra en el agua	W _a gr	3407,2
Peso de la muestra seca	W _s gr	4853,8

De aquí se calculan los siguientes parámetros:

$$\text{Densidad nominal} = \frac{\text{peso de la muestra seca}}{\text{peso de la muestra seca} - \text{peso de la muestra en el agua}}$$

$$\text{Densidad nominal} = \frac{4853,8}{4853,8 - 3407,2} = 3,36 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{peso de la muestra seca}}{\text{peso de la muestra superficialmente seca SSS} - \text{peso de la muestra en el agua}}$$

$$\text{Densidad aparente} = \frac{4853,8}{5624,9 - 3407,2} = 2,19 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Densidad aparente seca SSS} = \frac{\text{peso de la muestra superficialmente seca SSS}}{\text{peso de la muestra superficialmente seca SSS} - \text{peso de la muestra en el agua}}$$

$$\text{Densidad aparente seca SSS} = \frac{5624,9}{5624,9 - 3407,2} = 2,54 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Absorción} = \left(\frac{\text{peso de la muestra superficialmente seca SSS} - \text{peso de la muestra seca}}{\text{peso de la muestra seca}} \right) * 100$$

Datos corregidos

Densidad Nominal = $W_s / W_s - W_a$	gr/cm³	2,75
Densidad Aparente = $W_s / W_{sss} - W_a$	gr/cm³	2,21
Densidad Aparente SSS = $W_{sss} / W_{sss} - W_a$	gr/cm³	2,41
Absorción = $(W_{sss} - W_s / W_s) * 100$	%	8,77

El material fino obtenido de la cantera Armenia del municipio de Pasto, dio como resultado de acuerdo con los ensayos granulométricos, un módulo de finura de 3,79. De acuerdo con las normas ASTM C-33 y NTC 174, se avaluó densidad aparente seca consiguiendo un resultado de 2,46 Kg/dm³, el porcentaje de absorción de 3,70, las masas unitarias sueltas de 5,01 y la masa unitaria compacta 5,42. Los resultados anteriores son buenos para un concreto ya que se encuentran dentro de las normas.

Se utilizó agregado grueso (grava) traído de la cantera San Javier del municipio de Pasto. Los resultados luego del análisis granulométrico fueron los siguientes: su densidad aparente seca fue de 2,54 kg/dm³ Tamaño máximo 1½” tamaño máximo nominal ¾”, porcentaje de absorción 15,89, masa unitaria suelta 1,32 kg/dm³ y masa unitaria compactada 1,42 kg/dm³. Los resultados anteriores son buenos para un concreto ya que se encuentran dentro de los requisitos de la norma ASTM C-33 Y NTC 174.

VIRUTA DE CUERO. La viruta de cuero mostrada en la figura 19, es un residuo generado por el proceso de emparejado. El material es voluminoso y muy absorbente. En el procesamiento de este material fue necesario lavar hasta quitar el contenido de sal de la muestra debido a que, en el momento inicial, el cuero es salado para evitar que se pudra.

Figura 16. Viruta de cuero



Para verificar el contenido de sal se utilizó dicromato de potasio como indicador el cual genera en una muestra de agua salada un color blancuzco. Seguidamente las muestras fueron colocadas en el horno a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ por aproximadamente 24 horas para lograr que las fibras queden completamente secas.

El material seco tuvo que ser pulverizado al hacer dos pruebas a compresión, una con tiras largas de viruta y otra con el material molido, se observó que ofrecía más resistencia el material molido. La resistencia a compresión con tiras largas fue de 7,1Mpa y con viruta pulverizada fue de 10,6Mpa.

A la derecha, se observa el cilindro con tiras de viruta de cuero y a la izquierda el cilindro con viruta pulverizada.

Figura 17. Resistencia a compresión cilindros con viruta en tiras y pulverizada



Para el uso en nuestra investigación, se hizo una comparación entre un par de cilindros: uno con viruta en tiras de aproximadamente 10cm de largo y viruta convertida en partículas más pequeñas mediante un proceso de molido. El resultado fue favorable para la viruta molida obteniendo mayor resistencia a la compresión.

Dosificación de la mezcla. La dosificación en proporciones de peso seco que vamos a utilizar es 1:1,28:2 previamente ajustado por asentamiento.

5.4.2 Elaboración de especímenes. Para que los datos sean representativos, de acuerdo con la norma NSR10, C.5.3.1.2, se realizaron 30 muestras de cada tipo, obteniendo un factor de modificación para la desviación estándar de la muestra de 1,0.

Con el ajuste realizado día tras día de fundido se observó que el asentamiento varió entre 1,8cm y 2,5cm tanto en las mezclas para elaboración de vigas como para elaboración de cilindros.

Las humedades de los materiales se mantuvieron en un rango de 14% a 17% para el material grueso y entre 1% y 3,5% para el material fino.

En la siguiente tabla se detalla la cantidad de muestras elaboradas:

Tabla 17. Cantidad de muestras a elaborar

VIGAS			
MEZCAL NORMAL		MEZCAL CON VIRUTA	
FALLDAS AL CENTRO	FALLADAS AL TERCIO	FALLADAS AL CENTRO	FALLADAS AL TERCIO
30	30	30	30
TOTAL			120

CILINDROS	
MEZCLA NORMAL	MEZCLA CON VIRUTA
30	30
TOTAL	60

Elaboración de vigas patrón (mezcla normal). De acuerdo con la capacidad de carga de la mezcladora existente en el laboratorio de suelos de la universidad de Nariño, se hacen lotes que no excedan los 25kg de cemento en cada mezcla. Con este volumen de mezcla se pueden elaborar 6 vigas, y diariamente se procesaron

12 vigas que es la capacidad de moldes que se obtiene en el laboratorio. En la siguiente tabla (tabla 18) se muestra el peso total de la mezcla para 6 vigas:

Tabla 18. Cantidad de materiales para elaborar vigas patrón

Cemento	24	Kg
Agua	17,28	Kg
agregado fino	71,05	Kg
agregado grueso	77,56	Kg
TOTAL	189,88	Kg

Elaboración de cilindros de 4" (mezcla normal). En el laboratorio actualmente existen 19 moldes para cilindros de 4" los cuales se elaboró 10 cada día. En la siguiente tabla se muestra el peso total para la mezcla.

Tabla 19. Cantidad de materiales para elaborar cilindros de 4"

Cemento	10	Kg
Agua	7,20	Kg
agregado fino	29,60	Kg
agregado grueso	32,32	Kg
Total	79,12	Kg

Con la asesoría del profesor Arsenio Hidalgo y mediante la utilización de la calculadora de tamaño muestral GRANMO⁴¹, se pudo establecer el número de muestras que se deben realizar para obtener datos que permitan realizar análisis confiables para la investigación.

Para establecer este número de muestras se decide comparar cada tipo. Cilindros, vigas falladas al centro y vigas falladas al tercio.

En la comparación de cilindros con mezcla normal y con mezcla de viruta, Aceptando un riesgo alfa de 0.05 y un riesgo beta de 0.2 en un contraste bilateral, se **precisan 8 sujetos** en cada grupo para detectar una diferencia mínima de 2

⁴¹ MARRUGAT, J. (12 de abril de 2012). Calculadora de tamaño muestral GRANMO. Obtenido de <http://www.imim.cat/ofertadeserveis/software-public/granmo/>

entre dos grupos, asumiendo que existen 2 grupos y una desviación estándar de 7.09532, se ha estimado una tasa de pérdidas de seguimiento del 0%.

En la comparación de vigas falladas al centro con mezcla normal y viruta, Aceptando un riesgo alfa de 0.05 y un riesgo beta de 0.2 en un contraste bilateral, se **precisan 19 sujetos** en cada grupo para detectar una diferencia mínima de 2 entre dos grupos, asumiendo que existen 2 grupos y una desviación estándar de 1.07454, se ha estimado una tasa de pérdidas de seguimiento del 0%.

En la comparación de vigas falladas al tercio con mezcla normal y viruta, Aceptando un riesgo alfa de 0.05 y un riesgo beta de 0.2 en un contraste bilateral, se **precisan 27 sujetos** en cada grupo para detectar una diferencia mínima de 2 entre dos grupos, asumiendo que existen 2 grupos y una desviación estándar de 1.29616, se ha estimado una tasa de pérdidas de seguimiento del 0%

En resumen, de acuerdo con lo anterior se decidió procesar 27 datos para cada tipo, pensando en que sería mejor prescindir de una buena cantidad de resultados para ratificar los resultados eliminando los valores que presentan mayor dispersión.

Figura 18. Elaboración de vigas y cilindros



5.4.3 Resultados resistencia a la compresión. De acuerdo con los procedimientos de la norma INVE 410-07 se obtuvo los siguientes resultados.

Figura 19. Resistencia a la compresión



Tabla 20. Resultados a compresión 28 días con mezcla normal

Promedio	24,85Mpa
Desviación estándar	1,02295
Coefficiente de variación	4,12%

Tabla 21. Resultados a compresión 28 días con mezcla de viruta

Promedio	10,85 Mpa
Desviación estándar	0,725487
Coefficiente de variación	6,69%

5.4.4 Resultado de resistencia a la flexión.

Vigas simplemente apoyadas y cargadas al centro

De acuerdo con los procedimientos de la norma INVE 415-13, se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 22. Resultados a flexión 28 días con mezcla normal

Promedio	4,73Mpa
Desviación estándar	0,217061
Coefficiente de variación	4,59%

Tabla 23. Resultados a flexión 28 días con mezcla de viruta

Promedio	1,78Mpa
Desviación estándar	0,25689
Coefficiente de variación	14,43%

Vigas simplemente apoyadas y cargadas en los tercios de la luz libre.

De acuerdo con los procedimientos de la norma INVE 414-13 se obtiene los siguientes resultados.

Tabla 24. Resultados a flexión 28 días con mezcla normal

Promedio	4,66Mpa
Desviación estándar	0,194849
Coefficiente de variación	4,19%

Tabla 25. Resultados a flexión 28 días con mezcla de viruta

Promedio	2,08MPa
Desviación estándar	0,149602
Coefficiente de variación	7,19%

Figura 20. Resistencia a la flexión



De los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión, detallados en las tablas 24 y 25, se pudo observar que la mezcla para cilindros normales cumple con la resistencia de diseño presentada en el anexo 1 que fue de 21 Mpa. Los cilindros fabricados con la mezcla de viruta presentan baja resistencia debido a las características flexibles que presenta la materia prima. Los valores presentados se reducen aproximadamente en un 44% en comparación con los cilindros fabricados con mezcla normal.

Observado y analizando los datos de las tablas 23,24,25 y 26 de resistencia a la flexión, de igual forma las vigas elaboradas con mezcla de viruta cargadas y apoyadas en el centro, teniendo en cuenta la resistencia de diseño, se reduce en 38% en comparación con las vigas con mezcla normal. La resistencia a flexión de las vigas elaboradas con mezcla de viruta cargadas y apoyadas al tercio de la luz, se reduce en 44% en comparación con las vigas con mezcla normal.

También se observó que, en el momento de fraguado de las muestras elaboradas con mezcla de viruta, estas absorbían demasiada agua debido a las características de este material. Se podría pensar que en el momento de la falla esta cantidad de agua influye en la resistencia tanto a compresión como a flexión.

5.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis, en resumen, se realizaron 27 especímenes de cada tipo. Se identificó con la letra “N”, los que fueron elaborados con mezcla normal, y la letra “V” para los elaborados con mezcla de viruta de cuero.

5.5.1 Análisis de varianza para cilindros.

Tabla 26. Intervalos de confianza del 95% cilindros

Intervalos de confianza del 95,0%				
RESISTENCIA A COMPRESIÓN CILINDROS 28 DIAS (Mpa)				
Tipo	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
N	24,8485	0,196867	24,4439	25,2532
V	10,85	0,13962	10,563	11,137

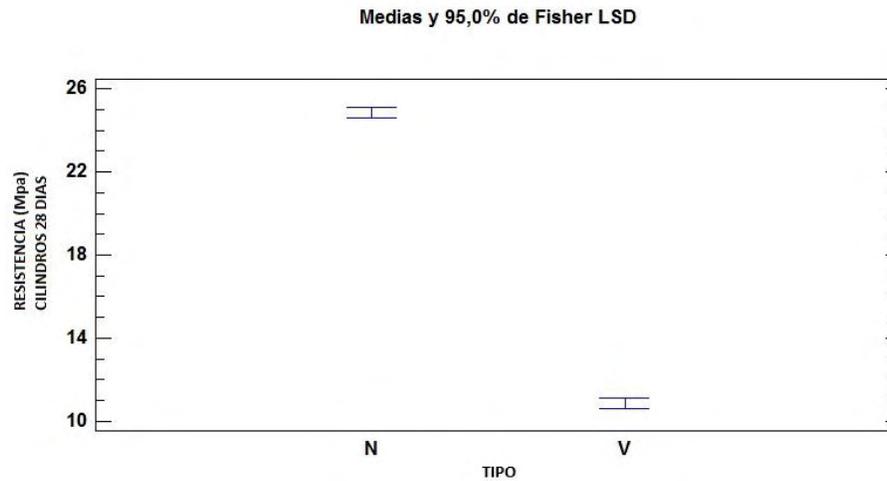
Tabla 27. Resumen estadístico cilindros

Resumen Estadístico							
RESISTENCIA A COMPRESIÓN CILINDROS 28 DIAS (Mpa)							
TIPO	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
N	27	24,8485	1,02295	4,12%	21,29	26,51	5,22
V	27	10,85	0,725487	6,69%	9,64	12,19	2,55
Total	54	17,8493	7,11938	39,89%	9,64	26,51	16,87

Tabla 28. ANOVA cilindros

Tabla ANOVA						
RESISTENCIA A COMPRESIÓN CILINDROS 28 DIAS (Mpa)						
Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	
Entre grupos	2645,44	1	2645,44	3364,07	0,0000	
Intra grupos	40,8917	52	0,78638			
Total	2686,33	53				

Gráfica 5. Medias y 95,0% de Fisher LSD cilindros



5.5.2 Análisis de varianza para Vigas apoyadas y cargadas en el punto central.

Tabla 29. Intervalos de confianza del 95,0% vigas falladas al punto central

Intervalos de confianza del 95,0% RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS 28 DIAS (Mpa)				
Tipo	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
N	4,73185	0,0417735	4,64599	4,81772
V	1,78	0,0494384	1,67838	1,88162

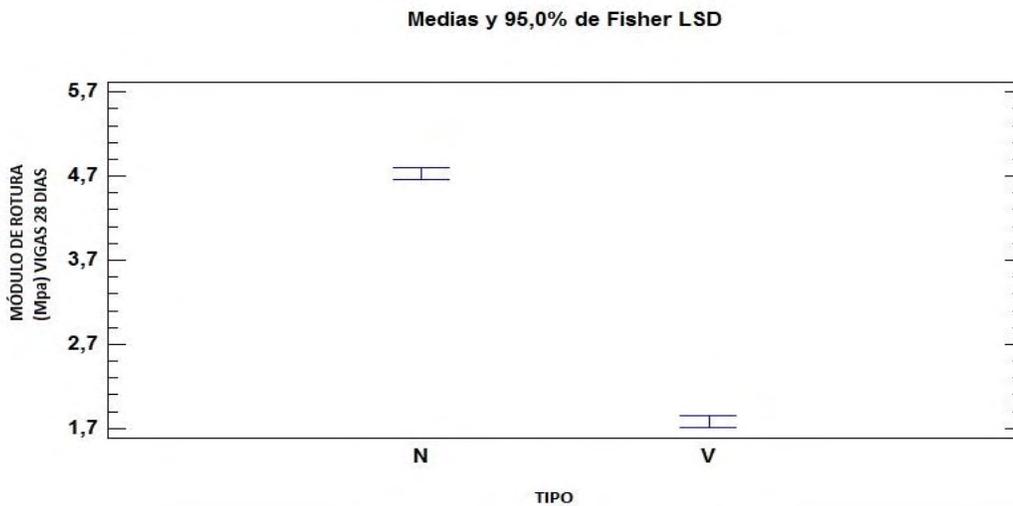
Tabla 30. Resumen estadístico vigas falladas al punto central

Resumen Estadístico RESITENCIA A FLEXION DE LAS VIGAS 28 DIAS (Mpa)							
Tipo	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
N	27	4,73185	0,217061	4,59%	4,43	5,12	0,69
V	27	1,78	0,25689	14,43%	1,48	2,91	1,43
Total	54	3,25593	1,50829	46,32%	1,48	5,12	3,64

Tabla 31. ANOVA vigas falladas al punto central

Tabla ANOVA					
RESISTENCIA A FLEXION DE VIGAS 28 DÍAS					
Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	117,631	1	117,631	2079,98	0,0000
Intra grupos	2,94081	52	0,056554		
Total	120,572	53			

Gráfica 6. Medias y 95,0% de Fisher LSD vigas falladas al punto central



5.5.3 Análisis de varianza para Vigas apoyadas y cargadas en los tercios de la luz libre.

Tabla 32. Intervalos de confianza del 95,0% vigas falladas al tercio

Intervalos de confianza del 95,0%				
RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS 28 DIAS (Mpa)				
Tipo	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
N	4,6563	0,0375084	4,5792	4,7334
V	2,07963	0,0287908	2,02045	2,13881

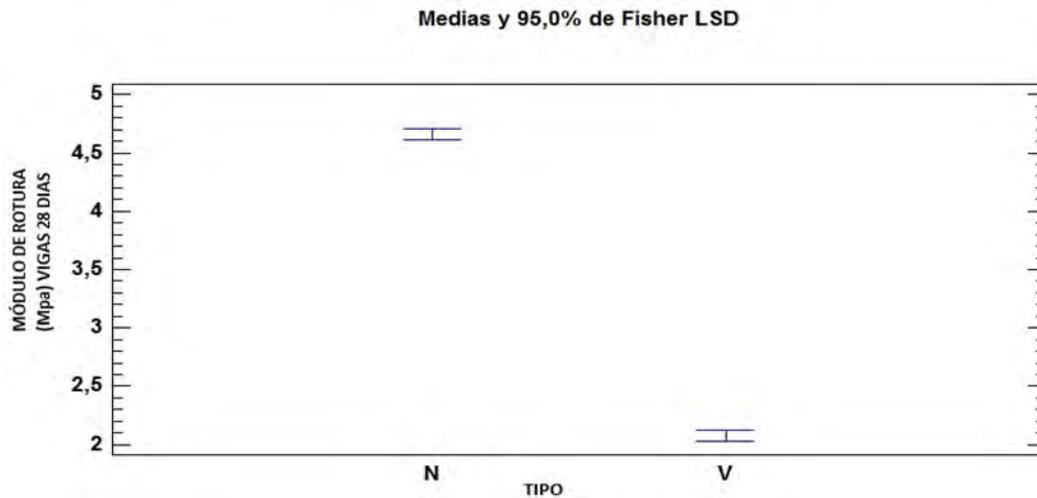
Tabla 33. Resumen Estadístico vigas falladas al tercio

Resumen Estadístico RESITENCIA A FLEXION DE LAS VIGAS 28 DIAS (Mpa)							
Tipo	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
N	27	4,6563	0,194899	4,19%	4,17	4,95	0,78
V	27	2,07963	0,149602	7,19%	1,89	2,43	0,54
Total	54	3,36796	1,31177	38,95%	1,89	4,95	3,06

Tabla 34. Tabla ANOVA vigas falladas al tercio

Tabla ANOVA RESISTENCIA A FLEXION DE VIGAS 28 DÍAS						
Fuente	Suma de Cuadrados		G l	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	89,6293		1	89,6293	2969,5 1	0,0000
Intra grupos	1,56953		5 2	0,0301832		
Total (Corr.)	91,198 9	5 3				

Gráfica 7. Medias y 95,0% de Fisher LSD vigas falladas al tercio



La desviación estándar en los resultados de los ensayos a compresión y flexión son bajos, indicando que los datos son homogéneos.

En los resultados a compresión, se puede observar en la tabla 29, que las desviaciones estándar de las pruebas normales son más bajas que las pruebas con viruta. Pero si se observa el coeficiente de variación de estos dos resultados, podemos destacar que las pruebas con viruta tienen un del 6,69% frente a un 4,12% de las pruebas normales. Estos datos son coherentes por que la viruta de cuero afecta la composición del concreto haciendo que los resultados sean más dispersos debido a las características de la materia prima.

5.6 ESTUDIOS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

La difracción de rayos X es una técnica instrumental que permite la identificación de fases cristalinas de un determinado material (puesto que todos los sólidos cristalinos poseen su difractograma característico) tanto en su aspecto cualitativo como cuantitativo.

Conociendo esta información se pueden inferir las propiedades y los diferentes usos que puedan considerarse para el objeto de estudio.

Los resultados obtenidos durante los análisis cuantitativos, se relacionan a continuación en la siguiente tabla que describen las fórmulas y nombres de las fases identificadas, para la muestra analizada. 50 G(d8cm)

Tabla 35. Fórmulas y nombres de las fases identificadas (estudio DRX)

	FASE	NO TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Na (AlSi ₃ O ₈)	010-83-1605	Albita	16,4%
	Ca (CO ₃)	010-86-2339	Carbonato de calcio	10,9%
	Ca ₄ (Al ₈ Si ₈ O ₃₂)(H ₂ O) ₁₉	010-76-8378	Gismondina	7,1%
	Ca ₆ Cr ₂ (SO ₄) ₃ (OH) ₁₂ ·26H ₂ O	000-33-0248	Bentorita	4,5%
	Na _{0.08} (Mg ₂ Al ₂ Si ₇ O ₁₈)(H ₂ O) _{0.69}	010-82-3683	Corderita	2,3
	Si O ₂	010-79-6239	Cuarzo	0,8%
	(Fe Ti O ₃) _{0.9} (Fe ₂ O ₃) _{0.1}	010-70-6253	Oxido de hierro Titanio	0,6%
	Si O ₂	010-75-0923	crystalita	NC%
	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	000-09-0465	Anortita	NC%
Total cristalino				42,6%
Amorfos y otros				57,4%

Los resultados de DRX, indican que el bloque de concreto se compone en un 57,4% por materiales amorfos, es decir que más de la mitad del material no presenta fases cristalinas. Las fases cristalinas que corresponden al porcentaje restante del material son características de los materiales que contienen cemento, arena y los otros componentes del concreto.

Es interesante observar que la presencia de cromo está en forma de bentorita, un sulfato hidratado de calcio y cromo con aniones adicionales de hidroxilo. Es decir, que el cromo presente en la viruta se incorporó a los componentes cristalinos del material. También es importante precisar que el estado de oxidación del cromo en

CONCLUSIONES

De todo el estudio realizado se puede deducir que es muy posible que se pueda reducir la contaminación debido a la manufacturación del cuero en el municipio de Belén, debido a que, al ser añadido a la mezcla de concreto, el cromo no se transfiere al agua y al suelo considerablemente para ocasionar daños a la naturaleza o a la salud humana.

Analizando los resultados de la investigación se concluye, que la viruta de cuero, puede, bajo los siguientes criterios de pre tratamiento como lavado, secado y triturado ser agregada en mezclas de concreto para la fabricación de placas prefabricadas modulares no estructurales, siendo esta una alternativa posible para la reutilización de dicho residuo.

En el parámetro de flexión se determinó que las dosificaciones probadas cumplen el parámetro establecido por la norma en deformación permisible para elementos no estructurales resaltando que este tipo de dosificación experimental es aceptable en el ámbito de la construcción.

RECOMENDACIONES

Debido a los problemas de salud que se pueden presentar a largo plazo por el contacto directo e indirecto al manipular el cromo, se recomienda utilizar elementos de bioseguridad como gorros, gafas, tapabocas, guantes, botas y delantales. Todos los anteriores de calidad industrial.

Adelantar estudios adicionales para verificar las causas de reducción de resistencia a la compresión y proponer alternativas para controlar este fenómeno. La dosificación de la viruta, su tamaño y forma podrían mejorar el comportamiento mecánico de la matriz de concreto y viruta. Será necesario adelantar estudios que consideren estas variables.

Realizar ensayos de resistencia a compresión y flexión en periodos superiores a los 28 días para verificar si varían dichas propiedades. De igual forma sería interesante verificar que sucede con los procesos de carbonatación del concreto a mediano y largo plazo (5 a 10 años)

Investigar sobre como determinar las características físicas y químicas de la viruta de cuero ya que no se encuentran estándares específicos para su estudio.

Realizar pruebas de resistencia al golpe, resistencia al calor, durabilidad de la materia prima en la mezcla de concreto y asimilación al sonido. Con esto se trataría que este tipo de materiales tomen más validez e importancia para ser implementados en diferentes áreas de la construcción.

Fallar muestras totalmente secas debido a la gran capacidad de absorción de la viruta de cuero, para poder concluir si la resistencia tanto a compresión como a flexión varía.

Experimentar con refuerzo metálico y observar cuál es su efecto en él.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Adriano. (2001). Trace Elements in the Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals, Springer, New York, USA. 867 p.

Alberth, L. A. (1997). Introducción a la toxicología ambiental. Metepec. ECO p.227-46.

Balkis N & Cagatay M. (2001). Factors controlling metal distributions in the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara. Turkey. Environmental international, 27(1). 1-13.

Belén, A. d. (2001). Plan de desarrollo Alcaldía de Belén Nariño. Obtenido de http://belen-narino.gov.co/apc-aa-files/63623536663165633266313665326430/PLAN_DE_DESARROLLO_MUNICIPIO_DE_BELEN_2012_2015.pdf

Bowen, H. (1979). Environmental Chemistry of the elements. Academic Press. London.

Castillo, C. (2010). Calidad del agua en la cuenca alta del río Luján. Herramientas para la gestión. Tesis de maestría en gestión de agua. centro de estudios transdisciplinarios del agua. Facultad de ciencias Veterinarias. Universidad de Buenos Aires.

CNPL. (2003). Centro Nacional de Producción mas limpia. Proyecto ambiental en la industria de curtiembre en Colombia: Diagnostico y estrategias.

Dai, J., Becquer, T., Henri, J., Reversat, G., Bernhard-Reversat, F., Lavelle, F. (2004). Influence of heavy metals on C and N mineralization and microbial biomass in Zn, Pb, Cu and Cd contaminated soils. Applied Soil Ecology. Volume 25, (2). 99-109.

DAMA. (2004). Departamento técnico de administracion del medio ambiente. políticas ambientales distritales. Secretaria distrital de ambiente. Alcaldía Mayor de Bogota.

División de toxicología y ciencias de la salud ToxFAQs. (2012). GENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY.

DNP. (2007). Departamento Nacional de planeación. Agenda interna para la productividad y la competitividad. documento regional Nariño. Santa Fé de Bogota.

Fernández y Guzmán. (2000). Presencia Antropogénica de Cromo (Cr) en el Ambiente y su Impacto en la Salud de los Pobladores de las Toscas (Santa Fe - Argentina). Ambiente Ecológico. Edición 72.

González Pimentel, S., Andrade, M., Marcet, P. (2000). Adsorción específica de cromo por distintas fracciones del suelo. Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. Universidad de Vigo.

Herreño. (2006). Gestión de residuos sólidos en curtiembres. Avances y metas de los proyectos liderados por el IDEA.

Jaimes A. y Hernández C. (2009). Alteraciones Visuales/Oculares y niveles de Cr en sangre de los trabajadores de la curtiembre Colombo - Italiana de Villa Pinzón (Cundinamarca). Tesis de grado. Facultad de Ciencias de la visión. Universidad de La Salle.

Källqvist, T. et al. (2008). Chronic toxicity of the Sava River (SE Europe) sediments and river water to the algae *Pseudokirchneriella subcapitata*. Water Res. Article in press.

Lora R. (2007). contaminación por micronutrientes y posibles soluciones. Rev. UDCA Act y Div Cientí, 7(1):5: 20-20.

Manaham. (2002). Environmental Chemistry, 7th Edition. 876 p.

Manku, G. (1980). Theoretical principles of inorganics chemistry, 7th Edition. TATA MCGraw Hill.

Marrugat, J. (12 de abril de 2012). Calculadora de tamaño muestral GRANMO. Obtenido de <http://www.imim.cat/ofertadeserveis/software-public/granmo/>

Narváez. (2006). Planeamiento y evaluación de la aplicaciones de los productos obtenidos en la hidrólisis alcalina de las virutas de cromo generadas durante el procesamiento del cuero. . Ingeniería e investigación Vo. 26 No.3, 0-8.

Peterson, P; Girling, C. (1981). Other trace metals. London: En: Leep, NW Ed. Effect of heavy metal pollution on plants. Vol 1: Effect of trace metals on plants function. Applied Science Publishers. 325p.

Richard, F.C., y Bourg A.C.M. (1991). Aqueous geochemistry of chromium: A review. Water Research 25(7).

Ritchie G.S.P., Sposito , G. (1995). Speciation in soils in:Ure, AM., Davison, C.M (eds). Chemical speciation in the enviroment. Blackie Academic y profesional, London, 201-203.

S. Swarnalatha , T. Srinivasulu, M. Srimurali, G. Sekaran . (2007). Safe disposal of toxic chrome buffing dust generated. Journal Hazardous Materials. 0-1.

ToxFAQs. (febrero de 2001). Obtenido de <http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/60%29cromo.pdf>

USDA. (1996).

USEPA. (2006). Drinking Water Regulations and Helatth Advisories. EPA 822-B-96-002, USEPA . Washington, DC.

WHO-IPCS. (2005). Environmental Health Criteria. international Programme on Chemical, Safety (IPCS). Washington DC.