

**INFORME DE PASANTIA REALIZADA EN LA EMPRESA GERMÁN FRANCO
CARBÓN S.A.S, EN EL MUNICIPIO DE SAMACÁ, BOYACÁ.**

YESSICA VIVIANA RODRÍGUEZ BELTRÁN

**TRABAJO DE GRADO EN LA MODALIDAD DE PASANTÍA
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

DIRECTOR

Dr. SULLY SEGURA PEÑA

CODIRECTOR 1

Mag. CAMILO ANDRES ROJAS CRUZ

CODIRECTOR 2

Dr. CÉSAR GERMÁN FRANCO RODRÍGUEZ

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TUNJA
2023**

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres y mis hermanos que, gracias al trabajo en equipo, hemos logrado alcanzar nuestros proyectos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre, Matha Beltrán y mi padre Manuel Rodríguez por siempre luchar en pro de mi bienestar, que con mucho esfuerzo lograron darme una educación superior, permitiéndome lograr mis sueños.

A mis profesores de la carrera de ingeniería ambiental de la Universidad Santo Tomás, por su compromiso y dedicación. Especialmente al ingeniero Camilo Rojas y la Doctora Sully Segura por acompañarme y brindarme su apoyo en este trabajo.

Al Doctor Cesar Germán Franco gerente de la empresa Germán Franco Carbón S.A.S, por brindarme la oportunidad de desarrollar mi pasantía profesional, y así mismo gracias por su apoyo incondicional en el proceso.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	10
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
2.1.	DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	12
2.2.	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	13
3.	JUSTIFICACIÓN	14
4.	OBJETIVOS	15
4.1.	OBJETIVO GENERAL	15
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
5.	ANTECEDENTES	16
6.	MARCO REFERENCIAL	20
6.1.	MARCO LEGAL	21
6.2.	MARCO TEÓRICO	23
7.	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS	26
7.1.	INVESTIGACIÓN SOBRE BRIQUETIZACIÓN DE POLVOS DE COQUE	26
7.1.1.	Metodología	26
7.1.1.1.	Toma de muestra	27
7.1.1.2.	Preparación de la muestra	28
7.1.1.3.	Análisis próximos de finos de coque	28
7.1.1.4.	Aglomeración	31
7.1.1.5.	Briquetización	31
7.1.1.6.	Análisis próximos de las briquetas	32
7.1.1.7.	Drop shatter test	33
7.1.1.8.	Determinación de área superficial específica	33
7.1.2.	RESULTADOS	33
7.1.2.1.	Análisis próximos del fino de coque	33
7.1.2.2.	Briquetización	34
7.1.2.3.	Análisis próximos de briquetas	35
7.1.2.4.	Drop Shatter test	36
7.1.2.5.	Determinación de área superficial específica	37

	39
7.1.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
7.1.3.1. Cenizas en base seca	42
7.1.3.2. Material volátil en base seca	42
7.1.3.3. Carbono fijo	43
7.1.3.4. Drop Shatter Test	44
7.1.3.5. Determinación de área superficial específica	46
7.2. ANÁLISIS DE CALIDAD DE CARBONES Y COQUE	48
7.2.1. Toma de muestras de coques	48
7.2.2. Análisis de muestras de coque y carbón	49
7.3. FORMULACIÓN DE PLANES PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN, SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	56
7.3.1. Plan de orden y aseo	56
7.3.1.1. Metodología	59
7.3.2. Plan de promoción y prevención de riesgos laborales	65
7.3.2.1. Metodología	67
8. APORTES	71
8.1. APORTES COGNITIVOS	71
8.2. APORTES AMBIENTALES Y SOCIALES	72
8.3. APORTES ECONÓMICOS	72
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	75
REFERENCIAS	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Granulometría	27
Tabla 2. Diseño de mezcla	31
Tabla 3. Análisis próximos de fino de coque	34
Tabla 4. Análisis próximos en base seca	34
Tabla 5. Sobrantes en la briquetización	35
Tabla 6. Análisis próximos de las briquetas	35
Tabla 7. Análisis próximos de las briquetas en base seca	35
Tabla 8. Resultados Drop Shatter Test	37
Tabla 9. Resultados de área superficial específica de los finos de coque	38
Tabla 10. Toma de muestras de coques	48
Tabla 11. Diagnóstico del plan de orden y aseo	59
Tabla 12. Cronograma del plan de orden y aseo	65
Tabla 13. Índice de masa corporal de los empleados	67
Tabla 14. Evaluación del estado del SG-SST	69

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización de la empresa.....	20
Ilustración 2. Distribución en planta de la empresa	21
Ilustración 3. Isotermas de adsorción.....	25
Ilustración 4. Metodología de la investigación	26
Ilustración 5. Material de estudio.....	27
Ilustración 6. Preparación de la muestra	28
Ilustración 7. Análisis próximos de finos de coque	29
Ilustración 8. Aglomeración de material fino.....	31
Ilustración 9. Elaboración de briquetas	32
Ilustración 10. Pesaje de briquetas para analizar	32
Ilustración 11. Drop shatter test.....	33
Ilustración 12. Briqueta tipo	34
Ilustración 13. Briquetas del Drop Shatter Test	36
Ilustración 14. Toma de muestra de carbón	49
Ilustración 15. Análisis próximos de coque y carbón.....	49
Ilustración 16. Metodología plan de orden y aseo	60
Ilustración 17. Acciones etapa para la de clasificación	60
Ilustración 18. Acciones para la etapa de orden.....	61
Ilustración 19. Acciones para la etapa de limpieza.....	61
Ilustración 20. Acciones para la etapa de estandarizar	61
Ilustración 21. Acciones para la etapa de disciplina	62
Ilustración 17. Evidencia del no uso de EPP	66

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Isotherma de adsorción de N ₂ a -196°C para la muestra <0.5 mm.....	39
Gráfica 2. Isotherma de adsorción de N ₂ a -196°C para la muestra 0.5-1 mm.....	39
Gráfica 3. Isotherma de adsorción de N ₂ a -196°C para la muestra 1-2 mm.....	40
Gráfica 4. Isotherma de adsorción de N ₂ a -196°C para la muestra <1 mm.....	40
Gráfica 5. Isotherma de adsorción de N ₂ a -196°C para la muestra <2 mm.....	41
Gráfica 6. Isotherma de adsorción de N ₂ a -196°C para la muestra <2.4 mm.....	41
Gráfica 7. Análisis próximos de cenizas en base seca.....	42
Gráfica 8. Análisis próximos de material volátil en base seca.....	43
Gráfica 9. Análisis próximos de carbono fijo en base seca.....	44
Gráfica 10. Desprendimiento / cenizas.....	44
Gráfica 11. Desprendimiento / Material volátil.....	45
Gráfica 12. Desprendimiento / carbono fijo.....	45
Gráfica 13. A BET y tamaño de poro en función de la granulometría.....	46
Gráfica 14. Revisión bibliográfica de áreas superficiales específicas.....	47
Gráfica 15. Porcentaje de cenizas en carbones.....	50
Gráfica 16. Porcentaje de humedad en carbones.....	51
Gráfica 17. Porcentaje de material volátil en carbones.....	51
Gráfica 18. Porcentaje de cenizas en coque todo 1.....	52
Gráfica 19. Porcentaje de humedad en coque todo 1.....	52
Gráfica 20. Porcentaje de material volátil en coque todo 1.....	53
Gráfica 21. Porcentaje de cenizas en coque- Tuta.....	54
Gráfica 22. Porcentaje de humedad en coque - Tuta.....	54
Gráfica 23. Porcentaje de material volátil en coque- Tuta.....	54
Gráfica 24. Porcentaje de cenizas en coque-Cali.....	55
Gráfica 25. Porcentaje de humedad en coque - Cali.....	55
Gráfica 26. Porcentaje de material volátil en coque- Cali.....	56

RESUMEN

Colombia, es el 3er mayor exportador de coque a nivel mundial y su producción está concentrada principalmente en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca. Sin embargo, en la coquización se presenta la generación de finos que no tiene ninguna utilidad y por ello son acumulados en pilas al aire libre, y como consecuencia se presenta contaminación del aire a través del transporte aéreo de material particulado. Por lo tanto, diferentes investigadores han propuesto aglomerar los finos de coque y carbón para incorporarlos a diferentes procesos productivos como combustible, en hornos de fundición, como sustitución de la leña, entre otros. En la empresa Germán Franco Carbón S.A.S a través de un convenio de pasantía se desarrolló una investigación con el objetivo de realizar briquetas de 4.5 cm con finos de coque de 7 granulometrías y como aglutinante se empleó almidón obteniendo un porcentaje en las briquetas de cenizas entre 25% – 27.3%, material volátil < 12% y un carbono fijo alrededor del 60%, en general se registró buena resistencia a través del Drop Shatter test y el área superficial de las muestras estudiadas están entre 3.3 a 5.6 m²/g. Por otro lado, en el marco de la pasantía se brindó apoyo técnico en el área de laboratorios de calidad con la toma de muestras y análisis próximos de coques y carbones, finalmente, se formularon 2 planes para aportar en la implementación del SG-SST.

1. INTRODUCCIÓN

El coque es el producto carbonáceo sólido obtenido durante la carbonización del carbón (Kumar et al., 2022), éste se produce calentando carbones de coque en un horno en una atmósfera reducida (déficit de oxígeno). A medida que aumenta la temperatura del carbón, se vuelve plástico y se fusiona antes de volver a solidificarse en partículas de coque. Esto se conoce como el proceso de apelmazamiento. La calidad del coque resultante está determinada por las cualidades de los carbones de coque utilizados, así como por las condiciones operativas de la planta (Matyjaszek et al., 2018).

Correspondiente a la producción mundial de carbón coquizable en 2015, según Euracoal fue de 900 millones de toneladas (900 Mton). Actualmente, el mayor exportador mundial de carbón coquizable es Australia, con un total de 190 Mton durante el 2016, siendo también uno de los mayores productores de carbón coquizable de esta materia prima en el mundo. Sin embargo, el mayor productor y consumidor de carbón coquizable sigue siendo China (Matyjaszek et al., 2018).

Se estima que alrededor de 0,6 ton de coque se utilizan para producir 1 ton de acero bruto, lo que corresponde a alrededor de 0,77 ton de carbón coquizable utilizado para producir coque. Además de la producción de acero, el coque también se utiliza, en la industria de la fundición, la producción de ferroaleaciones, lana aislante, cal viva, carburo de calcio o como combustible para calefacción. Dependiendo del proceso en el que se utilice, puede desempeñar un papel energético (combustible: fuente de energía y calor), un papel químico (fuente de carbono elemental para la reducción de minerales y carburación) y un papel físico (soporte para materiales de carga, permeabilidad a los gases de lecho, drenaje de metal líquido). (Rejdak et al., 2022)

Colombia representa el 90.3% de las reservas de carbón metalúrgico y el 47% de las reservas de carbón térmico en Latinoamérica (Gómez Reyes, 2018). A nivel nacional se destacan a los departamentos del Cesar y la Guajira como los mayores productores de carbón lo que representan el 53.3% y 36.11% respectivamente de

la producción nacional en el año 2016. Por otro lado, Boyacá produjo un 3.45%, Cundinamarca 2.71% y Norte de Santander el 2.38%, para el mismo periodo (Franco Rodriguez, 2018). En el mercado internacional, el coque colombiano se destaca por su potencial. Actualmente, es el tercer exportador de coque a nivel mundial y para el 2021 se alcanzó un récord en exportación de 4,2 Mton, impulsado principalmente por su calidad (Fenalcarbón, 2022)

Por otro lado, en la actividad minera hay una problemática medioambiental respecto a la generación de material fino ya que representa un pasivo ambiental. Ahora bien, la empresa Germán Franco Carbón S.A.S ubicada en Samacá- Boyacá se destaca por la producción de coque para la fabricación de acero a partir de chatarra y coque para fabricación de material de fricción. En aras de disminuir y encontrar soluciones para el reúso de material fino de coque, evaluar la calidad de coques y carbones, así como la formulación planes para la implementación del SG-SST, la empresa dio apertura a una pasantía en convenio con la Universidad Santo Tomás seccional Tunja, la cual se desarrolló sobre 3 ejes: 1- La investigativa desarrollando un análisis de la aglomeración de finos de coque de 7 granulometrías con almidón de maíz, logrando caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de briquetas de 4.5 cm a través de análisis próximos, Drop Shatter Test y área superficial. 2- Toma de muestras y análisis próximos de la producción de coque y carbón para determinar su calidad. 3- Formulación del plan de orden y aseo y el plan de promoción y prevención de riesgos laborales para apoyar la implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST)

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

En los últimos años, ha surgido una preocupación a nivel mundial debido al aumento en un 6% de CO₂, y se le atribuye al sector siderúrgico un aporte alrededor del 7% de las emisiones mundiales de CO₂, según estadísticas se genera 1.8 Ton de CO₂ por tonelada de acero líquido, producido por el proceso integrado de alto horno (BF)-horno de oxígeno básico, que es la principal ruta de fabricación de acero. Por otro lado, la producción y el consumo de coque contribuyen con más del 80 % de las emisiones totales de CO₂ del proceso de fabricación de hierro (Xing, 2020)

China, Polonia y Colombia son los países con los mayores registros de exportación mundial de coque metalúrgico, con alrededor de 4 Mton al año. La International Energy Agency (2017) estima que el carbón de Colombia presenta el poder calorífico más alto ya que contiene 0.65 ton equivalentes de petróleo, por cada tonelada, y se caracteriza por ser variable según la zona carbonífera, sin embargo, se ha reportado hasta 14.161 BTU/Lb, siendo el registro más alto entre los 10 principales productores a nivel mundial. (Agencia Nacional de Minería, n.d.)

La carbonización está dada por una transición de temperatura en 3 etapas, donde inicialmente desde 25 °C a 200°C hay pérdida de humedad, CO₂ e hidrocarburos. Luego, se da la etapa plástica a 200°C – 500°C donde se da lugar a la ruptura de enlaces débiles involucrando la evolución de una serie de hidrocarburos ligeros y otras moléculas orgánicas y como consecuencia, hay ablandamiento, contracción y dilatación de algunos carbones. Y finalmente, se genera el coque a un rango de temperatura de 500°C a 1100 °C donde se produce reacciones de condensación y polimerización.(Pertuz et al., 2011)

En la coquización existe una problemática medioambiental debido la generación de finos de coque en los procesos de molienda y cribado, ya que éstos no son comercializados por su baja calidad. Por lo general son acumulados y almacenados

al aire libre y ello, genera contaminación del aire debido al transporte de material particulado. Diferentes investigadores han propuesto aglomerar los finos de coque y carbón para darle utilidad e incorporarlos a diferentes procesos productivos como combustible, en hornos de fundición, como sustitución de la leña, entre otros.

La empresa Germán Franco Carbón S.A.S comercializa coque superior a diámetros 2mm y el material <2 mm es acumulado en pilas, y por ello, actualmente se busca realizar briquetas con el fino de coque descargado en la producción, para así poder generar un producto que genera bajas emisiones y que pueda tener calidad y rendimiento en diferentes industrias.

2.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo reusar los polvos generados como subproducto de los procesos coquización? ¿Se hace necesario implementar un plan de promoción y prevención de riesgos laborales en la Empresa Germán Franco Carbón SAS?

3. JUSTIFICACIÓN

El coque de los hornos sale con una granulometría todo uno y es llevado a molienda y cribado para la selección de diferentes tamaños de acuerdo a las exigencias de cada cliente. Se considera apto para alto hornos el coque metalúrgico > 50 mm y el material más fino es descartado ya que se caracteriza por concentrar todas las impurezas del proceso de coquización y por ello, no es apto para la producción de acero. (Mora Camacho, 2015)

Es importante que el sector minero a medida que evoluciona, innove constantemente con el objetivo de convertirse en un negocio más eficiente y así, lograr operaciones con estándares sostenibles (comunidades y personas, responsabilidad ambiental y cambio climático). (Fehse et., 2017).

La empresa Germán Franco Carbón busca darle un valor agregado a los finos de coque que genera diariamente en sus procesos de cribado, evaluando la viabilidad de realizar briquetas de fino de coque con el fin de abrir una nueva línea de producción y generar un subproducto para comercializarlo. Asimismo, se busca obtener un reconocimiento por investigación e innovación y finalmente generar empleo.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Utilizar el desperdicio del polvo resultante de la molienda de coque e implementar planes de prevención y riesgos ambientales en la Empresa Germán Franco Carbón S.A.S

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Producir y evaluar *briquetas de polvos residuales de coquización menores a 2,4 mm usando almidón de maíz como ligante*
- Evaluar la calidad de los carbones y coques producidos en la empresa, a través de análisis próximos realizados en laboratorio.
- Formular 2 planes que aporten a la implementación del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo en la compañía.

5. ANTECEDENTES

(Florentino-Madiedo et al., 2020) en su investigación titulada “*Mechanical strength of bio-coke from briquettes*” realizaron briquetas compuestas de carbón bituminoso de alta volatilidad con biomasa tales como: lignina, aserrín de pino, aserrín de pino torreficado y un sólido procedente de la carbonización hidrotérmica de residuos lignocelulósicos de poda de árboles. Los estudios de las briquetas se llevaron a cabo a través de análisis proximal y elemental y evaluación de densidad, así mismo, los coques fueron sometidos a micro-resistencia, resistencia a la compresión, caracterización de la porosidad y evaluación cuantitativa de la composición textural mediante microscopía de luz polarizada. Los autores concluyeron que los ligantes bituminosos son los más eficaces porque aumentan la fluidez de Gieseler y tienen un menor contenido en materia volátil que la melaza y la parafina. Las briquetas preparadas con parafina producen coques con una resistencia menor que melaza, la razón más probable es su alto contenido en materia volátil, ya que la melaza produce una fuerte disminución de la anisotropía. La combinación de lignina con aglutinantes bituminosos produce los mejores resultados de resistencia a la compresión. La combinación lignina/melaza es la mejor sin aglutinante bituminoso. El alto porcentaje de mosaicos y el bajo de inertes favorece la resistencia mecánica del coque.

La investigación titulada “*Evaluation of demineralized lignin and lignin-phenolic resin blends to produce biocoke suitable for blast furnace operation*” fue desarrollada por los autores (Castro-Díaz et al., 2019) la cual tuvo el 2 enfoques orientados a comprobar si es posible la producción de biocoque a partir del hidrochar obtenido tras la carbonización de la lignina desmineralizada, y las mezclas que contienen lignina un carbón de coque pobre de bajo rango (alto hinchamiento), y resina fenólica novolak como agente aglutinante. Se obtuvo como resultado que el biocoque logrado tras la carbonización a 1.000 °C del hidrochar de lignina desmineralizada, tuvo una reactividad mucho mayor que el coque obtenido a partir del carbón de coque de bajo rango. Por otro lado, demostraron que la desmineralización de la lignina antes de la conversión hidrotermal no es una ruta

válida para la fabricación de biocoque. Además, se descubrió que las mezclas que contenían un 70 % de carbón de bajo rango, un 24 % de lignina torrefacta (antes o después de la desmineralización) y un 6 % de resina fenólica producían biocoques con resistencia mecánica adecuada para la manipulación, pero una mayor reactividad que el coque obtenido a partir del carbón de coque de bajo rango solo.

(Florentino-Madiedo et al., 2019) en su artículo "*The effect of briquette composition on coking pressure generation*" investigaron mezclas formadas por carbón no coquizable de baja volatilidad, biomasa, carbón no coquizable y un ligante bituminoso, con el objetivo de estudiar el efecto que tienen las briquetas que contienen biomasa, carbón no coquizable y alquitrán de hulla como aglutinante, en el desarrollo de presión de coquización durante la co-carbonización en un horno de pared móvil de 17 kg de capacidad. Los autores determinaron la permeabilidad de la fase plástica al flujo de gas para las mezclas de carbón de coque, con los componentes individuales de la briqueta y para las mezclas de carbón de coque con el 15% en peso de las cuatro briquetas. Se midió la presión de coque en un horno de pared móvil y se evaluó la resistencia mecánica, la reactividad del coque y la resistencia post-reacción de los coques mediante pruebas estándar, JIS, CRI/CSR. En efecto, la presión de coque disminuye con todas las briquetas probadas y a varios niveles de adición. Aunque la caída de presión no se ve muy afectada por ningún aditivo, las mezclas de carbón no coquizable de baja volatilidad con las briquetas producen diferencias en este valor. El aumento de la densidad aparente debido al uso de briquetas no implica un aumento de la presión de coque. El efecto positivo de la densidad aparente sobre la calidad del coque permite la inclusión de una mayor cantidad de aditivos como el carbón no coquizable aparte del aserrín. El uso de briquetas en porcentajes de hasta el 15 % en peso produce una disminución de la presión de coque de hasta el 50% con una disminución de sólo 3 puntos en la RSC.

(Fernández et al., 2010) en su estudio titulado "*Importance of the textural characteristics of inert additives in the reduction of coal thermoplastic properties*" eligieron siete materiales carbonosos de diferente origen para estudiar la influencia

de su estructura porosa en la modificación de las propiedades termoplásticas de un carbón bituminoso. Los materiales incluidos fueron: dos carbones no coquizables, un coque de petróleo, finos de coque, dos residuos del reciclado de neumáticos y un residuo bituminoso. Los materiales se trataron térmicamente a 900 °C para evitar cualquier interacción química entre los volátiles desarrollados durante la co-carbonización. Ellos encontraron que uno de los factores que influyen en el efecto de los aditivos sobre las propiedades plásticas de los carbones bituminosos, es la adsorción de los componentes que se generan cuando el carbón se calienta a más de 400 °C (debido a las reacciones de descomposición, polimerización y condensación), y que son responsables del ablandamiento del carbón. Se ha comprobado que el volumen de microporos, determinado por la adsorción de CO₂ a 273 °K, no era el factor determinante en la reducción de la plasticidad. Por el contrario, fueron los macro y mesoporos, medidos por porosimetría de Hg, los parecían ser los responsables de la adsorción de los componentes desarrollados durante el calentamiento del carbón, provocando así su ablandamiento,

El objetivo del estudio "*The Effect of Wood Tar and Molasses Composition on Calorific Value and Compressive Strength in Bio-coke Briquetting*" fue llevado a cabo por (Yustanti et al., 2022) con el fin de determinar el efecto de la composición de la proporción de mezcla de alquitrán de madera y melaza como aglutinante sobre el poder calorífico y la resistencia a la compresión del biocoque. La carbonización de residuos de secuoya para producir carbón vegetal de alta calidad se llevó a cabo a 500 °C con una velocidad de rotación del horno de 20 rpm y una pendiente de 5°. El carbón vegetal resultante mostró un resultado prometedor con un valor calorífico de 23,87 MJ/kg. El proceso de carbonización de la secuoya aumentó el valor de carbono fijo hasta un 130% y el valor calorífico en un 40%. La segunda parte de este estudio se centró en la producción de biocoque mediante la mezcla de carbón de coque con carbón vegetal de secuoya al 90:10 en peso. Los tamaños de las partículas del carbón de coque y del carbón vegetal de secuoya eran de 40 y 50 en mallas, respectivamente. Se añadió un aglutinante del 15% para aumentar la resistencia a la compresión del biocoque. En este contexto, el biocoque con una composición aglutinante de 2,5 % de alquitrán de madera + 12,5 % de melaza

produjo una resistencia a la compresión de hasta 5,57 MPa con un contenido de azufre de 0,8 % y produjo un valor calorífico de 31,25 MJ/kg con un contenido de cenizas de 9,6 %. El estudio demostró que el biocoque producido cumple algunos requisitos para la industria siderúrgica.

(Sánchez Valencia & López Ochoa, 2016) en su tesis *“Obtención de briquetas a partir de finos de un carbón del Valle del Cauca”* elaboraron briquetas a base de finos de carbón provenientes de las actividades productivas de la empresa Cartón de Colombia, la metodología empleada fue un diseño factorial ²³ compuesto central rotatable, para 36 briquetas donde las variables controladas fueron la concentración de almidón, la presión y el contenido de humedad, cada una con dos niveles. Las variables de respuesta fueron la resistencia a la compresión, al impacto y poder calorífico. Los autores lograron concluir que, a una alta concentración de almidón, bajo porcentaje de agua y alta presión se obtuvo briquetas con la mayor resistencia a la compresión alcanzando 3.61 MPa. Por otra parte, el almidón como ligante logró incrementar el poder calorífico de las briquetas, dando como resultado un producto que cumple con las exigencias comerciales de pérdida de masa y resistencia a la compresión mínima, haciendo viable el uso industrial de las mismas.

6. MARCO REFERENCIAL

Germán Franco Carbón S.A.S, está localizada en el municipio de Samacá (Boyacá), se destaca por la producción de coque siderúrgico, para la industria de acero a partir de chatarra y elaboración de coque para material de fricción.

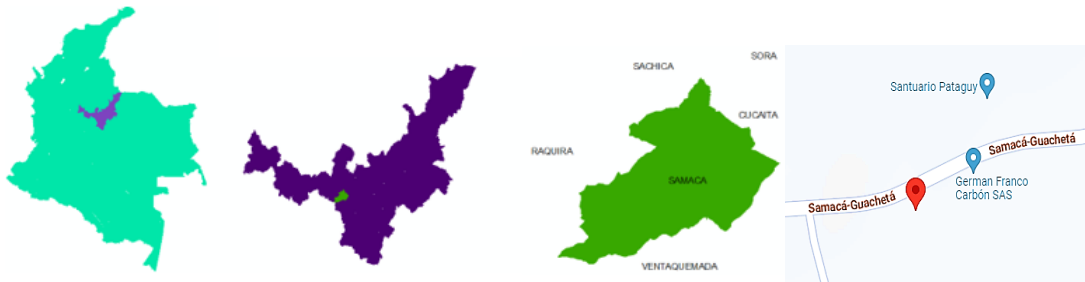


Ilustración 1. Localización de la empresa

Fuente: elaboración propia & google earth

Actualmente la empresa cuenta con planta de lavado de carbón, montaje de molienda y mezcla de carbones, hornos de coquización tipo colmena, montaje de triturado y empaclado de coque y un montaje de limpieza de coque. La empresa está a disposición de producir alrededor de 2.000 toneladas mensuales (GermánFranco,2018).

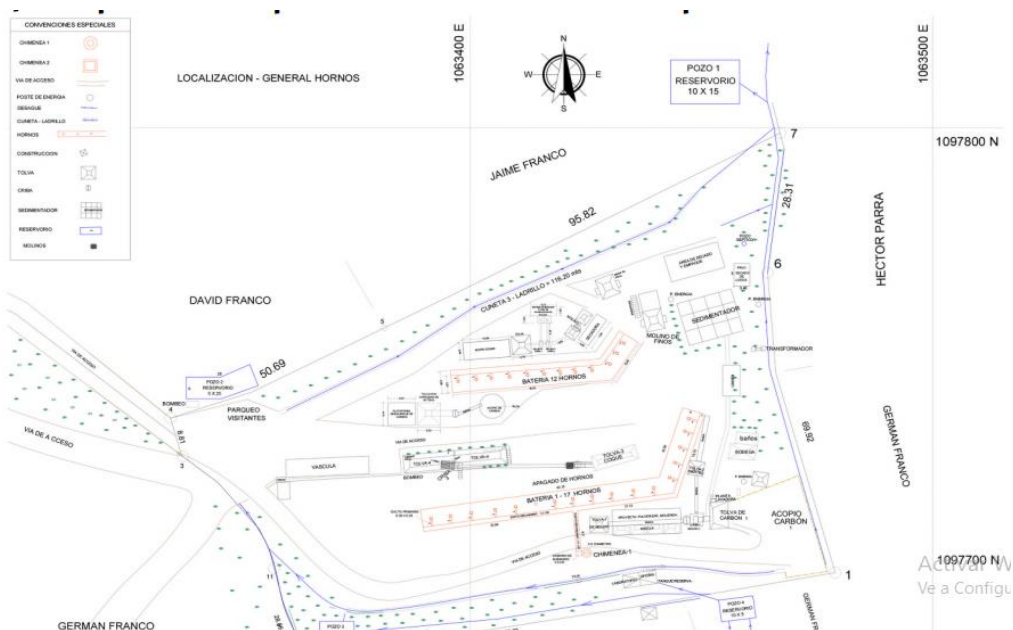


Ilustración 2. Distribución en planta de la empresa

Fuente: Germán Franco Carbón S.A.S

La Universidad Santo Tomás y la empresa Germán Franco Carbón S.A.S a través de un convenio interinstitucional, brinda el escenario para desarrollar la pasantía en el área medioambiental con el proyecto titulado *“Briquetización de polvos de coque menores a 0,5 mm usando bentonita sódica y almidón de maíz como ligantes”*. El estudio tuvo como director al Doctor en ingeniería de materiales, César German Franco Rodríguez en representación de la empresa, quien se desempeña como gerente y director del área científica de German Franco Carbón S.A.S. Asimismo, la Doctora Sully Segura Peña que se desempeña como docente del departamento de Ciencias Básicas e Investigación de la Universidad Santo Tomás.

En esta pasantía se continuó con la investigación iniciada por Germán Franco, Sully Segura y Naren Mariño en la cual se realizaron briquetas a partir del reciclaje de finos de coque aglomerados, y se concluyó que las briquetas con dextrina de almidón modificado de maíz al 10% fueron las que presentaron los mejores resultados en resistencia mecánica al impacto, después de realizar el ensayo estándar de caída de coque (Drop Shatter Test), usando la norma ASTM D3038. La mezcla de bentonita al 6% demostró que a mayor contenido de arcilla sódica en el polvo de coque se obtendrá un aumento de las cenizas proporcional a lo añadido, desvalorizando estas briquetas para uso industrial. Y finalmente, tanto la muestra de almidón al 5% como la de bentonita al 3% presentaron una compactación baja en la briquetadora industrial de la empresa, esto fue a causa de la falta de humedad en los finos de coque aglomerados.

6.1. MARCO LEGAL

Resolución 909 de 2008

Establece las normas y los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para fuentes fijas, adopta los procedimientos de medición de emisiones para fuentes fijas y reglamenta los convenios de reconversión a tecnologías limpias.

ASTM D3173-03

Este método de prueba cubre la determinación de la humedad en la muestra de análisis de carbón o coque. Se utiliza para calcular otros resultados analíticos en base seca. Cuando se utiliza junto con la pérdida por secado al aire determinada de acuerdo con el método D 2013 o la práctica D 346, cada resultado analítico puede calcularse a una base seca.

ASTM D3174-00

Este método de prueba cubre la determinación del residuo inorgánico como ceniza en la muestra de análisis de carbón o coque preparada de acuerdo con el método D2013 o la práctica D346. Los resultados obtenidos pueden aplicarse como ceniza en el análisis proximal, Práctica D3172, y en el análisis final, Práctica D3176.

ASTM D3175-11

Este método de ensayo determina el porcentaje de productos gaseosos, excluyendo el vapor de humedad, en la muestra de análisis que se liberan bajo las condiciones específicas del ensayo. Este método de ensayo para la determinación de la materia volátil es empírico; debido a su naturaleza empírica, se requiere una estricta adherencia a los principios básicos y a los procedimientos permitidos para obtener resultados válidos.

ASTM D3038-93

Este método de ensayo abarca la aplicación de dos procedimientos para la determinación de la propiedad del coque de resistir la rotura cuando se deja caer en condiciones de ensayo especificadas:

Procedimiento A, utilizado cuando la muestra de coque contiene un 50 % o menos de 100 mm (4 pulgadas) después de eliminar el coque de tamaño inferior a 50 mm (2 pulgadas).

Procedimiento B, utilizado cuando la muestra de coque contiene más del 50 % de 100 mm (4 pulg.) tras la eliminación del coque de menos de 50 mm (2 pulg.)

ISO 45001

Esta norma específica requisitos para un sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SST) y proporciona orientación para su uso, para permitir a las organizaciones proporcionar lugares de trabajo seguros y saludables previniendo las lesiones y el deterioro de la salud relacionados con el trabajo, así como mejorando de manera proactiva su desempeño de la SST

6.2. MARCO TEÓRICO

A partir de los carbones coquizables se producen tres tipos principales de coque:

- El coque metalúrgico: se produce en hornos de coque y se utiliza principalmente para la reducción del mineral de hierro en altos hornos. También se consume en altos hornos y hornos eléctricos para la producción de ferroaleaciones y para la reducción de otros óxidos metálicos, cloruros, fosfatos, sulfatos, así como para de carbonatos a carburos (Babich & Senk, 2018)
- El coque de fundición: se produce en hornos de coque y se utiliza en fundiciones para fundir hierro y diversos metales como aleaciones de cobre, plomo, estaño y zinc en hornos de cubilote (Babich & Senk, 2018)

- El coque doméstico, o semicoque: se utiliza como combustible, se trata de un coque con bajo contenido en cenizas, de fácil ignición, alto poder calorífico y muy bajo contenido en azufre (Babich & Senk, 2018)

Aglomeración

La aglomeración se da con aquellos materiales que tienen la capacidad de generar fuerzas para unir segmentos de una o varias sustancias o materiales y dar cohesión al conjunto por métodos físicos.(Salvatierra Cerda, 2014)

Análisis próximo

Este método permite la determinación del contenido de cenizas, humedad, material volátil y el carbono fijo, mediante la pérdida de peso de las muestras expuestas a un calentamiento en condiciones controladas tanto de temperaturas, atmosfera, peso y tipo de muestra. Permitiendo cuantificar las impurezas para la evaluación y control de procesos industriales, así como determinar las características de combustión y selección de calderas.(Cuellar et al., 1998)

Almidón

El almidón de maíz es una sustancia que brinda adhesión y evita la desintegración de las briquetas. Se caracteriza por tener un nivel de glucosa alto, libre de olor y sabor. Está formado por la mezcla de amilosa y amilopectina. Si el almidón contiene más amilopectina, el producto es más adhesivo.(Huaman Ramos et al., 2021)

Briquetas

El briqueteado del carbón se ha investigado en todo el mundo para producir briquetas a partir de carbón de varios tipos con diferentes características para usos particulares. El briqueteado puede realizarse con o sin aglutinante. El aglutinante ayuda a la aglomeración y también da fuerza cohesiva a la briqueta. Se ha investigado mucho para mejorar las propiedades de las briquetas, como mantener la inflamabilidad al tiempo que se mantiene baja la materia volátil o reducir las emisiones de humo y azufre durante la combustión.(Kural, 1994)

Método BET (Brunauer, Emmett y Teller)

La metodología BET permite determinar el área superficial de un sólido poroso basándose en la adsorción de un gas inerte, que por lo general es Nitrógeno a baja temperatura. Debido a que la interacción entre las fases gaseosa y sólida suele ser débil, la superficie se enfría usando N₂ líquido para obtener cantidades detectables de adsorción donde se generan capas que se repliegan en la superficie del material y son monitoreadas por cambios de presión. Paso seguido a la muestra se retira la atmósfera de nitrógeno y se calienta para provocar liberación del material y se logre cuantificar. Los datos recolectados se muestran en forma de isoterma BET, que representa la cantidad de gas adsorbido en función de la presión relativa. Existen cinco tipos de isotermas de adsorción posibles en el análisis de área superficial BET, se suele utilizar nitrógeno debido a su disponibilidad en alta pureza y su fuerte interacción con la mayoría de los sólidos.(Pavan & Andrew, 2022)

En la ilustración 3 muestra una isoterma convencional donde se muestra la zona de llenado de la monocapa y multicapa.

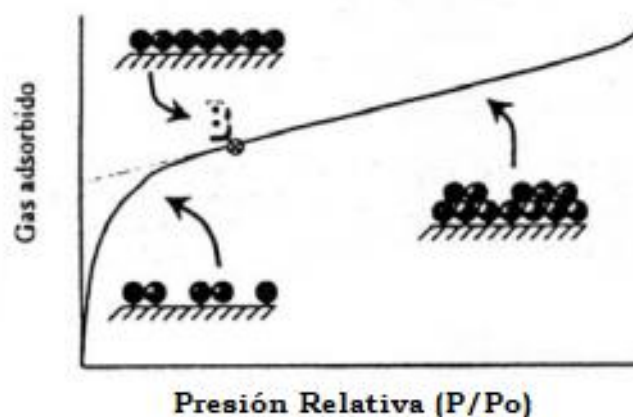


Ilustración 3. Isotermas de adsorción

Fuente: Gil, 2019

7. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS

7.1. INVESTIGACIÓN SOBRE BRIQUETIZACIÓN DE POLVOS DE COQUE

Actualmente, en la empresa German Franco Carbón S.A.S se está desarrollando la investigación titulada “*Briquetización de polvos de coque menores a 0,5 mm usando bentonita sódica y almidón de maíz como ligantes*” y durante la pasantía se realizó la caracterización del material fino resultante de la molienda y cribado del coque producido en la compañía, así como el proceso de briquetización y evaluación de la calidad de los mismos.

7.1.1. Metodología

Para la investigación en la producción y evolución de las briquetas, se desarrollo de acuerdo a la siguiente metodología:

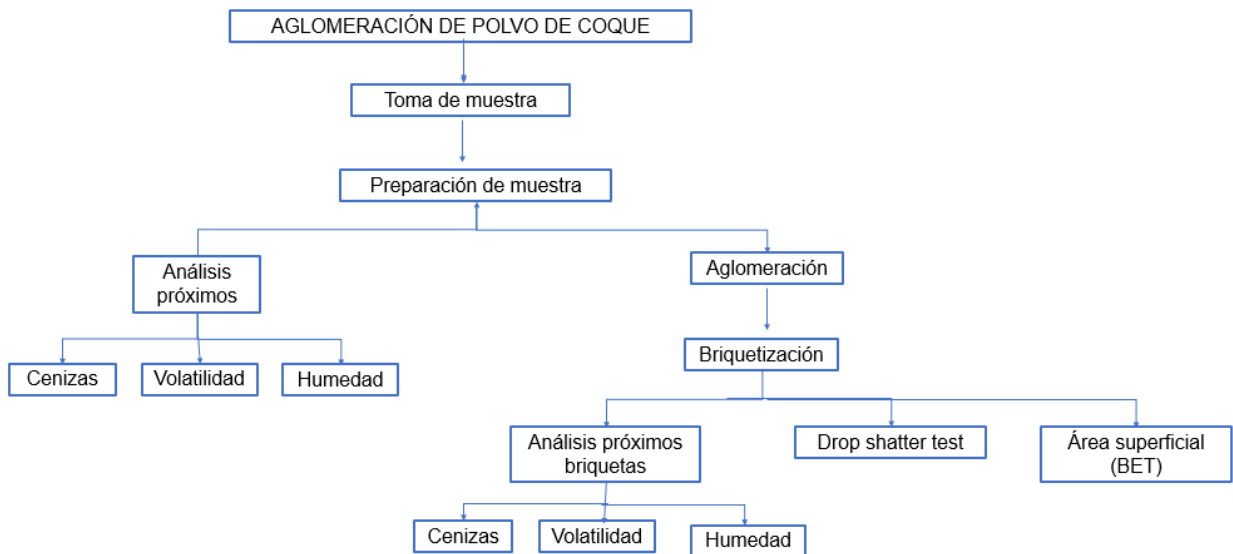


Ilustración 4. Metodología de la investigación

7.1.1.1. Toma de muestra

La empresa dispone de un material fino (ilustración 5) que proviene del proceso de molienda y cribado en la coquización. La toma de muestra consiste en realizar una excavación manual a lo largo de la pila en forma de espiral con el fin de obtener una muestra compuesta. Se adquirió una muestra total de 300 Kg, y se procedió a tamizar para obtener 10kg de cada granulometría (tabla 1)



Ilustración 5. Material de estudio

TAMIZ	GRANULOMETRÍA
< Malla 30	0-0.5 mm
< Malla 18	0-1.0 mm
< Malla 10	0-2.0 mm
< Malla 8	0- 2.4 mm
Malla 30-Malla 18	0.5 - 1.0 mm
Malla 18 - Malla 10	1.0 - 2.0 mm
Malla 10 – Malla 8	2.0 - 2.4 mm

Tabla 1. Granulometría

7.1.1.2. Preparación de la muestra

En la preparación (ilustración 6) se lleva los 10 Kg de muestra al molino y luego, se procede a realizar el cuarteo el cual consiste en ingresar el material por el cuarteador, se separa aproximadamente en partes iguales, se descarta una de las partes y se almacena en una lona, luego, se ingresa de nuevo el material al cuarteador y se repite el proceso hasta obtener 1 Kg de muestra, que serán pulverizadas posteriormente.



Ilustración 6. Preparación de la muestra

7.1.1.3. Análisis próximos de finos de coque

Después, se toma la muestra pulverizada para realizar los análisis próximos que permite caracterizar el material a través de la determinación de cenizas, material volátil y humedad intrínseca.



Ilustración 7. Análisis próximos de finos de coque

- a. Pesaje de Cenizas b. Pesaje de Material Volátil c. Pesaje de Humedad intrínseca
 d. Obtención de material volátil e. Obtención de cenizas f. Obtención de humedad.

Cálculos de cenizas

Para la determinación de las cenizas del material, se pesa un crisol cerámico vacío y luego se toma 1g de muestra (ilustración 7a) que será ingresado a una mufla a 950 °C por 4 horas (ilustración 7e), siguiendo el protocolo establecido en ASTM D 73174, posteriormente se deja enfriar y se toma lectura del peso del crisol+muestra y se calcula el porcentaje p/p así:

$\% \text{ Cenizas} = \frac{C - A}{C - B} \times 100$	Ecuación (1)
---	--------------

A: Peso después del secado

B: Peso crisol vacío

C: Peso crisol + muestra

Cálculo de material volátil

El material volátil se calcula de acuerdo a lo establecido en ASTM 3175 y consiste en pesar 1g de muestra en un crisol cromo níquel (Ilustración 7b) y llevarlo a una Horno Hoskin (Ilustración 7d) a una temperatura de 950°C por 7 min, y luego se deja enfriar el crisol+muestra para registrar su peso y determinar el porcentaje p/p así:

$\% \text{ Material volátil} = \frac{C - A}{C - B} \times 100$	Ecuación (2)
--	--------------

A: Peso después del secado

B: Peso crisol vacío

C: Peso crisol + muestra

Cálculo de humedad intrínseca

La humedad intrínseca se calculó siguiendo lo estipulado en ASTM D3173-03, se determinó pesando un crisol de vidrio vacío y con 1g de muestra (Ilustración 7c) que se ingresa a un horno a 110°C por 2 horas (Ilustración 7f), se dejó enfriar para continuar con el pesaje del crisol+ muestra y determinar el porcentaje p/p así:

$\% \text{ Humedad intrínseca} = \frac{C - A}{C - B} \times 100$	Ecuación (3)
--	--------------

A: Peso después del secado

B: Peso crisol vacío

C: Peso crisol + muestra

7.1.1.4. Aglomeración

En el proceso de aglomeración se diseñó la mezcla (tabla 2), y la preparación del aglomerante consistió en calentar el agua desmineralizada hasta lograr una temperatura de 75°C y se realizó la mezcla manual con el almidón hasta obtener homogeneidad de la misma, seguidamente se incorporó el fino de coque en un recipiente a dicha mezcla.

DISEÑO DE MEZCLA	
Fino de coque	8000 g
Agua desmineralizada	1000 ml
Almidón	1000 g
TOTAL	10000 g

Tabla 2. Diseño de mezcla



Ilustración 8. Aglomeración de material fino

a. Almidón b. Fino de coque c. Almidón + agua desmineralizada

7.1.1.5. Briquetización

El proceso se realizó en la briquetadora comercial con una potencia de 6 HP y capacidad de carga de 3 Ton/hora, donde se ingresó en 1/3 de la mezcla aglomerada debido a la capacidad de la máquina y como resultado de la compactación se obtuvo las briquetas. El proceso de briquetización se realizó con la totalidad de la mezcla. (ilustración 9). Es importante destacar que las

muestras tuvieron un tiempo de exposición a temperatura ambiente de 50 min
Las briquetas se dispusieron en bandejas para luego llevar a cabo un secado en el horno comercial de gas a una temperatura de 100°C, por 90 min.

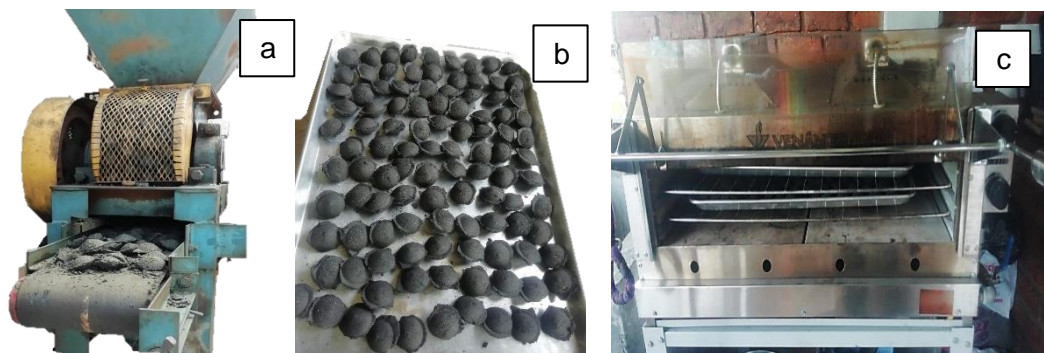


Ilustración 9. Elaboración de briquetas

a. Briquetización b. Briquetas c. Secado

7.1.1.6. Análisis próximos de las briquetas

Los análisis próximos se realizaron tomando 1 Kg de las briquetas (Ilustración 10) y se realizó la preparación de la muestra como se mencionó anteriormente en el ítem 7.1.1.2, exceptuando el cuarteo. Asimismo, se realizó la cuantificación de cenizas, material volátil y humedad intrínseca siguiendo el protocolo descrito en el 7.1.1.3



Ilustración 10. Pesaje de briquetas para analizar

7.1.1.7. Drop shatter test

Este método de ensayo de rotura por caída ofrece un medio para indicar la capacidad del carbón para resistir la rotura cuando se somete a manipulación en la mina y durante el tránsito hasta el consumidor. Se realizó con una muestra aproximadamente de 3000 g y consistió en dejar caer las briquetas a una lámina de acero de 6mm de espesor (Ilustración 11), a una altura de 1.83 m por 4 veces, luego se procedió a pesar el material desprendido de las briquetas.



Ilustración 11. Drop shatter test

7.1.1.8. Determinación de área superficial específica

Este ensayo fue realizado por el centro de investigaciones en catálisis en la Universidad Industrial de Santander. Las muestras se pesaron en celdas de 9 mm de diámetro fabricadas en vidrio borosilicato, Micromeritics. Se desgasificaron a 150°C y 6 Pa por 10 h en un equipo Vac Prep 061, Micromeritics. La captura de las isotermas de adsorción de nitrógeno se realizó a -196°C en un equipo 3FLEXTM de Micromeritics, en un intervalo de presión relativa (P/P01) entre 0.0025 y 0.3000. El análisis de los datos fue realizado con el programa 3FLEX V.4.03, provisto por el equipo.

7.1.2. RESULTADOS

7.1.2.1. Análisis próximos del fino de coque

De acuerdo a los análisis en el laboratorio del fino de coque, se obtuvo los siguientes resultados:

ANÁLISIS PRÓXIMOS INICIALES (Como se recibe)							
MUESTRA	<0.5 mm	0.5 -1 mm	1-2 mm	2-2.4 mm	< 1 mm	< 2 mm	< 2.4 mm
CENIZAS	23.50%	24.30%	25.55%	27.30%	28.85%	28.90%	30.55%
HUMEDAD	0.70%	0.90%	0.85%	0.95%	3.25%	1.65%	1.55%
VOLÁTIL	4.65%	5.45%	6.10%	5.70%	4.25%	4.80%	5.00%
CARBÓN FIJO	71.15%	69.35%	67.50%	66.05%	63.65%	64.65%	62.90%

Tabla 3. Análisis próximos de fino de coque

ANÁLISIS PRÓXIMOS INICIALES (base seca)							
MUESTRA	<0.5 mm	0.5-1 mm	1-2 mm	2-2.4 mm	< 1 mm	< 2 mm	< 2.4 mm
CENIZAS	23.7%	24.5%	25.8%	27.6%	29.8%	29.4%	31.0%
VOLÁTIL	4.7%	5.5%	6.2%	5.8%	4.4%	4.9%	5.1%
CARBÓN FIJO	71.7%	70.0%	68.1%	66.7%	65.8%	65.7%	63.9%

Tabla 4. Análisis próximos en base seca

7.1.2.2. Briquetización

Las briquetas (Ilustración 12) obtenidas del equipo tuvieron un diámetro aproximado de 4.5 cm y un peso aproximado de 23 g. Es importante destacar que, a la hora de compactar las diferentes mezclas aglomeradas, en el material de 1-2 y 2-2.4mm se evidenció alta humedad, lo que al manipular las briquetas resultantes era difícil debido a su fragilidad, y por ello, se expuso al ambiente alrededor de 50 min para lograr un pre-secado, para que a la hora de hacer el drop shatter test tuviera mejor resistencia.

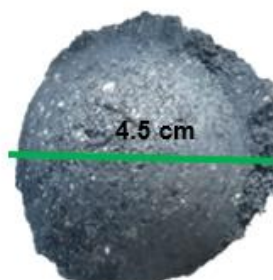


Ilustración 12. Briqueta tipo

En el proceso de briquetización debido a la capacidad del equipo, se obtuvo los siguientes sobrantes:

SOBRANTES DE LA BRIQUETIZACIÓN		
GRANULOMETRÍA	PESO (g)	%
< 0.5 mm	123,5	1,24%
0.5 - 1mm	101,2	1,01%
1 - 2mm	83,1	0,83%
2 - 2.4mm	53,4	0,53%
< 1mm	95,5	0,96%
< 2 mm	73,5	0,74%
< 2.4 mm	70	0,70%
TOTAL		6,00%

Tabla 5. Sobrantes en la briquetización

7.1.2.3. Análisis próximos de briquetas

En el proceso de briquetización, luego del secado se procedió a realizar los análisis próximos y se obtuvieron los siguientes resultados:

ANÁLISIS PRÓXIMOS BRIQUETAS							
MUESTRA	<0.5 mm	0.5-1 mm	1-2 mm	2-2.4 mm	< 1 mm	< 2 mm	< 2.4 mm
CENIZAS	24.40%	23.90%	23.85%	26.50%	26.65%	26.25%	25.50%
HUMEDAD	2.55%	2.30%	2.55%	2.00%	2.50%	2.20%	2.80%
VOLÁTIL	12.50%	12.15%	12.55%	11.25%	12.65%	13.20%	11.70%
CARBÓN FIJO	60.55%	61.65%	61.05%	60.25%	58.20%	58.35%	60.00%

Tabla 6. Análisis próximos de las briquetas

ANÁLISIS PRÓXIMOS BRIQUETAS (base seca)							
MUESTRA	<0.5 mm	0.5-1 mm	1-2 mm	2-2.4 mm	< 1 mm	< 2 mm	< 2.4 mm
CENIZAS	25.0%	24.5%	24.5%	27.0%	27.3%	26.8%	26.2%
VOLÁTIL	12.8%	12.4%	12.9%	11.5%	13.0%	13.5%	12.0%
CARBÓN FIJO	62.1%	63.1%	62.6%	61.5%	59.7%	59.7%	61.7%

Tabla 7. Análisis próximos de las briquetas en base seca

7.1.2.4. Drop Shatter test

En el Drop Shatter Test se evidenció en general que las briquetas presentan buena resistencia a la rotura (Ilustración 13), y como resultado se determinó el desprendimiento de cada tipo de briquea (tabla 8), sin embargo, en el desarrollo del test debido a que las briquetas se transportaban en empaques había fricción entre ellas y al dejar caer las briquetas a la lámina, este material suelto se contabilizó en el desprendimiento total.

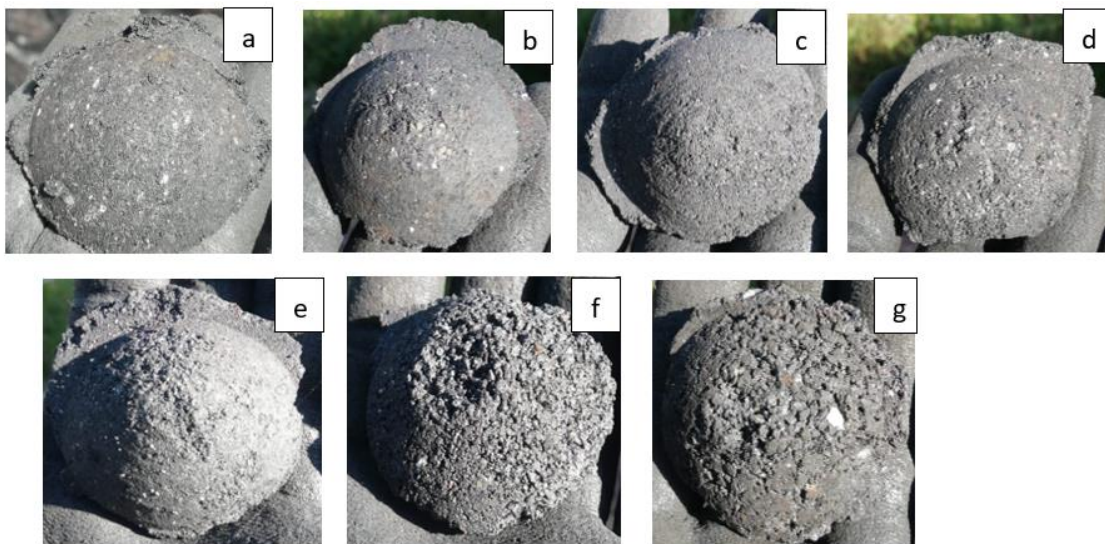


Ilustración 13. Briquetas del Drop Shatter Test

- a. Briquetas <0,5mm b. Briquetas 0,5-1mm c. Briquetas 1-2 mm d. Briquetas 2- 2.4 mm e. Briquetas <1mm f. Briquetas <2mm g. Briquetas <2.4mm

DROP SHATTER TEST			
GRANULOMETRÍA	MUESTRA (g)	DESPRENDIMIENTO (g)	DESPRENDIMIENTO (%)
0.5 mm	3073.0	43.5	1.42%
0.5-1 mm	3190.0	98.5	3.09%

1-2 mm	3214.5	61.5	1.91%
2-2.4 mm	3335.5	67	2.01%
<1 mm	3815.5	43	1.13%
<2 mm	3813	46	1.21%
<2.4 mm	3828	50	1.31%

Tabla 8. Resultados Drop Shatter Test

7.1.2.5. Determinación de área superficial específica

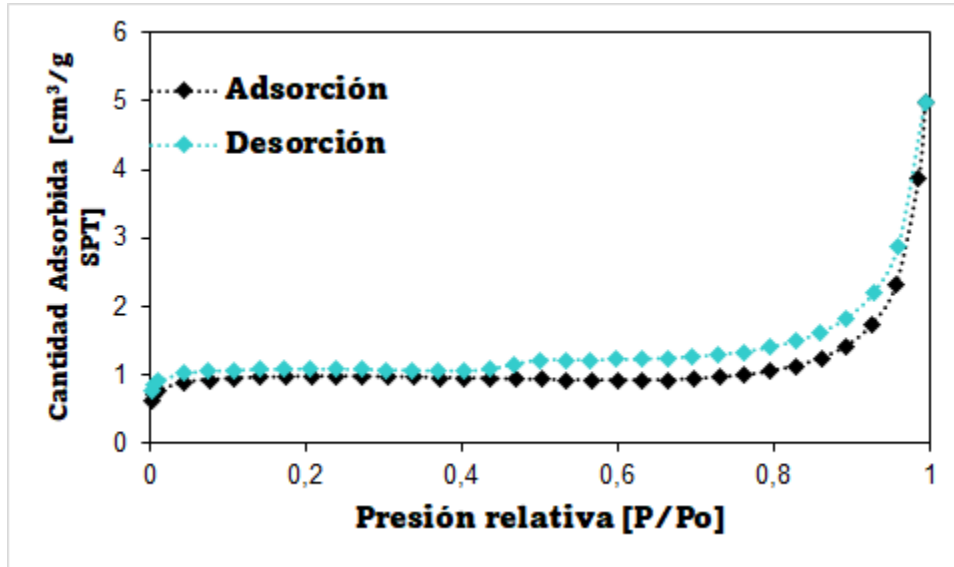
Las áreas específicas de las muestras se calcularon por el método BET (Brunauer-Emmett-Teller) cuyo intervalo de aplicación fue ajustado de acuerdo con el criterio de consistencia de la transformada de Rouquerol. El método BET se encuentra incluido en el programa del equipo. De acuerdo a los resultados obtenidos (tabla 9), las muestras analizadas se catalogan como mesoporosas de acuerdo a la clasificación de la IUPAC, ya que el tamaño de poros se encuentran en el rango de 2-50 nm.

Muestra	Presión relativa (P/Po)	Cantidad adsorbida (cm ³ /g STP)	A _{BET} (m ² /g)	Constante C	Volumen total de poro (cm ³ /g)	Tamaño de poro-BJH (nm)
<0.5mm	0.0099	0.7730	3.8	753.4	0.0025	38.9
	0.0430	0.8910				
	0.0760	0.9295				
0.5-1mm	0.0050	0.6160	3.3	842.0	0.0015	41.0
	0.0105	0.6686				
	0.0428	0.7596				
1-2mm	0.0048	0.7046	4.3	415.0	0.0051	24.3

	0.0098 0.0426 0.0754 0.1078	0.7963 0.9696 1.0421 1.0889				
<1 mm	0.0099 0.0427	1.1208 1.2907	5.6	654.0	0.0037	34.4
<2 mm	0.0099 0.0429 0.0759	0.9973 1.1663 1.2298	5.0	565.0	0.0039	33.0
<2.4 mm	0.0099 0.0427 0.0759	0.7882 0.9206 0.9717	4.0	560.0	0.0033	33.6

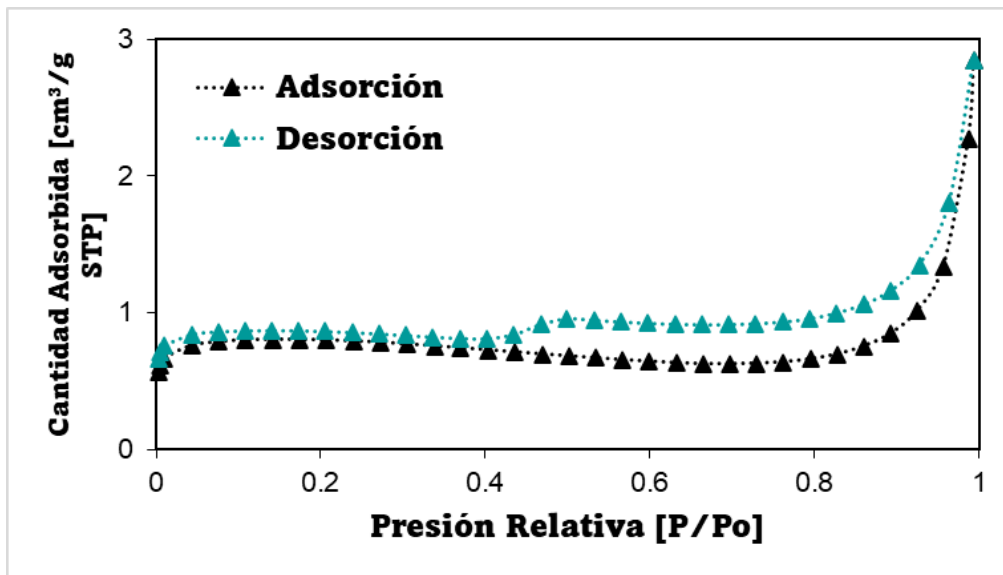
Tabla 9. Resultados de área superficial específica de los finos de coque

A continuación, se muestra la isoterma de adsorción del fino <0.5 mm, y se evidencia una cantidad adsorbida hasta de 5 cm³/g, sin embargo, de acuerdo a la desorción, se evidencia que el material retiene gases y/o líquidos, ya que la trayectoria de la desorción no coincide con la de adsorción, presentándose así, el fenómeno de histéresis.



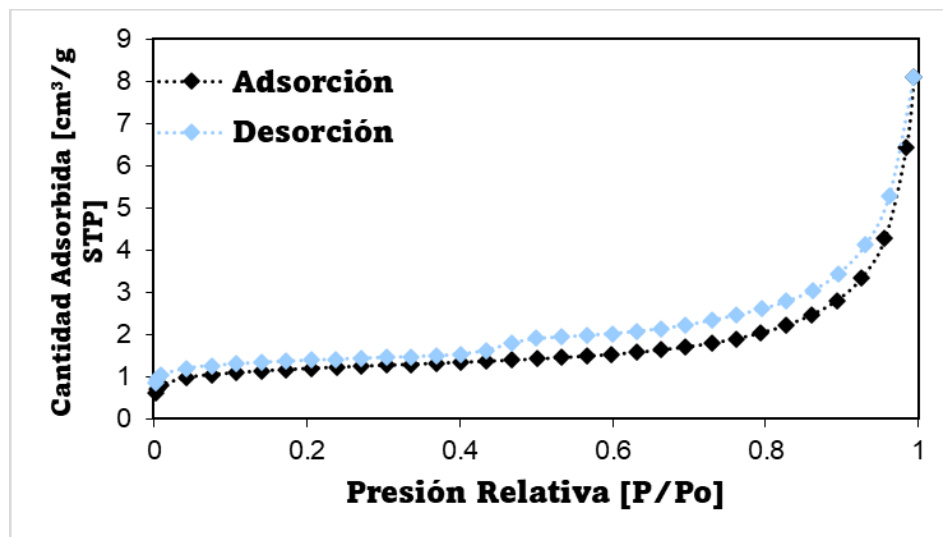
Gráfica 1. Isotherma de adsorción de N₂ a -196°C para la muestra <0.5 mm.

Con relación, al fino de coque 0.5-1mm en la gráfica 2 se observa que se alcanzó a adsorber un volumen cercano a los 3 cm³/g, y hubo un porcentaje representativo de retención de gases y/o líquidos a partir de una presión relativa de 0.4



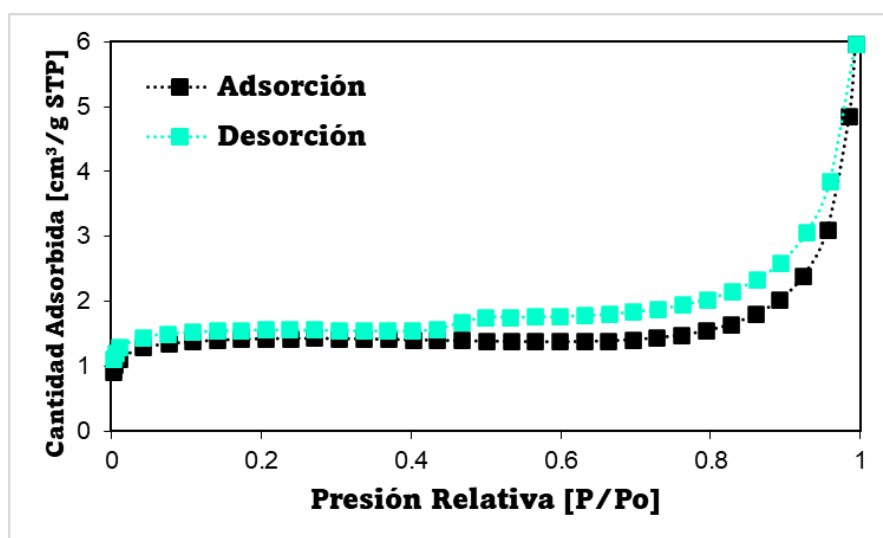
Gráfica 2. Isotherma de adsorción de N₂ a -196°C para la muestra 0.5-1 mm.

En la isoterma obtenida en el material de 1-2mm, alcanzó una adsorción alrededor de los 8 cm³/g, y en presiones relativas superiores a 0.5 tuvo la mayor retención de gases y/o líquidos.



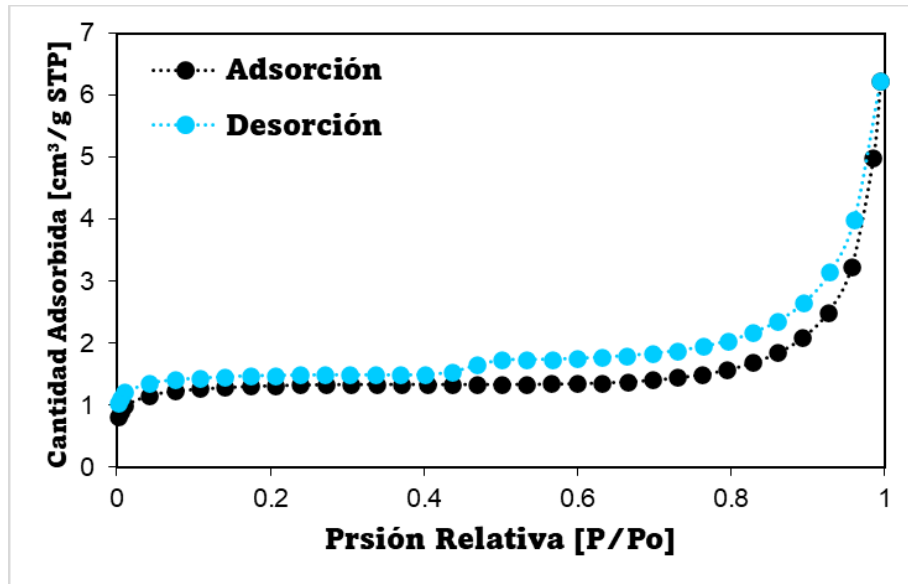
Gráfica 3. Isotherma de adsorción de N₂ a -196°C para la muestra 1-2 mm

Respecto a la isoterma del fino de coque <1 mm, se registró un volumen adsorbido de 6 cm³/g, y a partir de una presión relativa de 0.5 las isotermas (adsorción - desorción) no coinciden, lo que indica una retención de líquidos y/o gases.



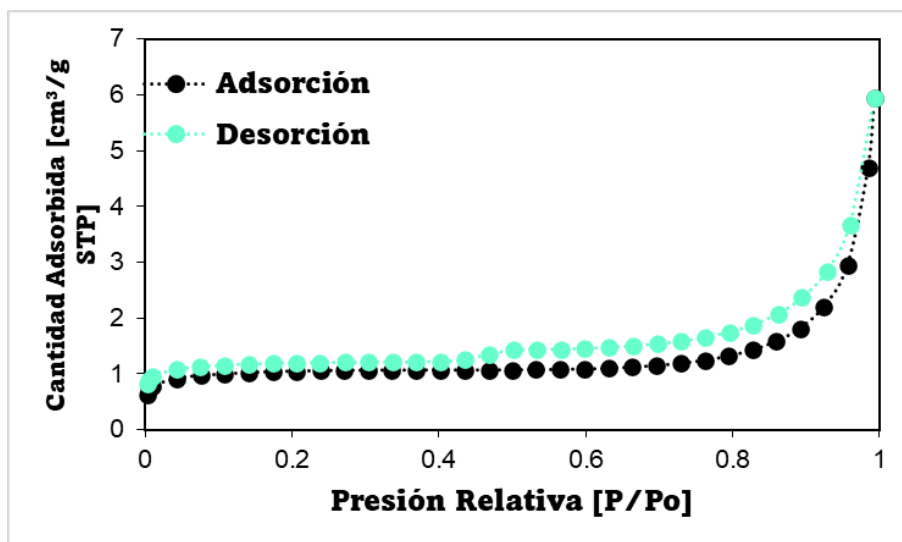
Gráfica 4. Isotherma de adsorción de N₂ a -196°C para la muestra <1 mm

El fino de coque <2mm tuvo una cantidad adsorbida alrededor de 6 cm³/g y se evidencia que el material alcanza una capacidad de retención desde presiones relativas cercanas a 0.4



Gráfica 5. Isoterma de adsorción de N₂ a -196°C para la muestra <2 mm

Finalmente, las isotermas que representan el comportamiento del fino <2.4 mm, muestran que lograron un volumen adsorbido de 6 cm³/g.

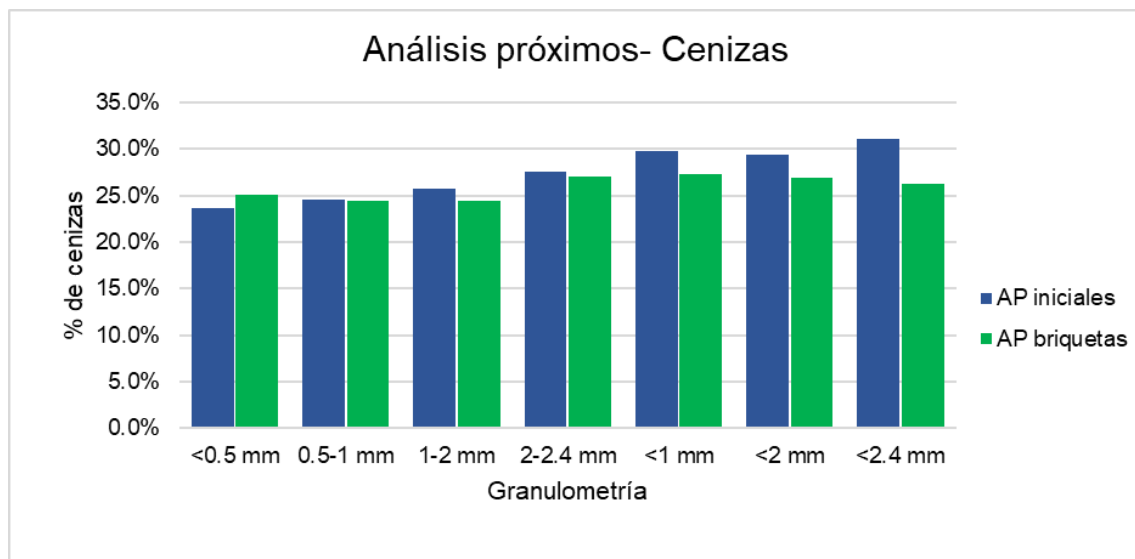


Gráfica 6. Isoterma de adsorción de N₂ a -196°C para la muestra <2.4 mm

7.1.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1.3.1. Cenizas en base seca

En los análisis próximos (gráfica 7) con relación al porcentaje de cenizas, se evidenció que en las briquetas disminuyó este parámetro con relación a los análisis del material inicial, sin embargo, en general las cenizas superan el 12%, lo que hacen que las briquetas aún no sean aptas para procesos siderúrgicos. Por otro lado, es importante controlar este parámetro, ya que los altos porcentajes alteran la calidad del coque en cuanto a la reactividad y resistencia del mismo, lo que no lo hace apto para emplearlo en alto horno.

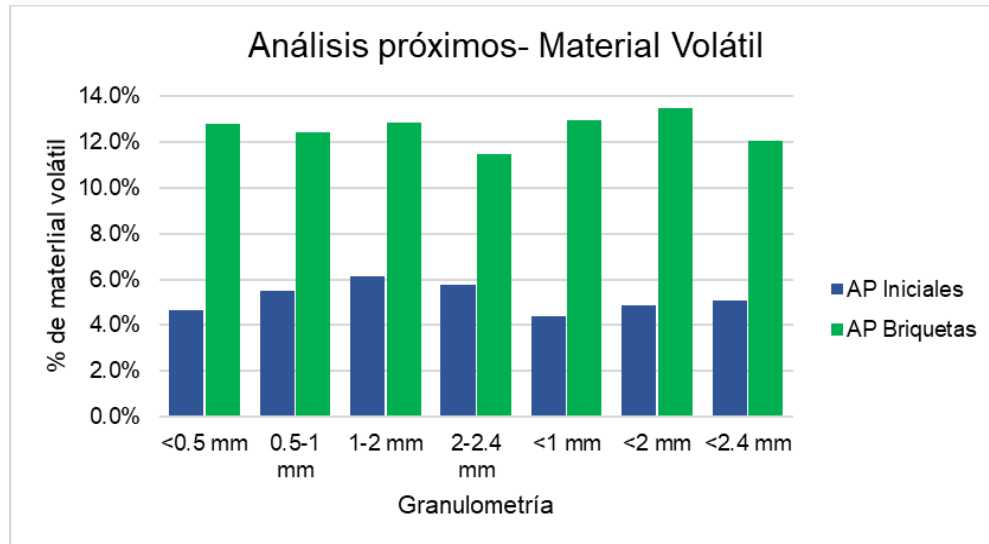


Gráfica 7. Análisis próximos de cenizas en base seca

7.1.3.2. Material volátil en base seca

Se conoce que el fino de coque empleado pertenece al grupo de las antracitas ($2 > \%MV < 8$) y es de carácter no aglomerante y por ello (ASTM D121), se evidencia que el material volátil en el fino de coque está entre 4 y 6%, sin embargo, en las

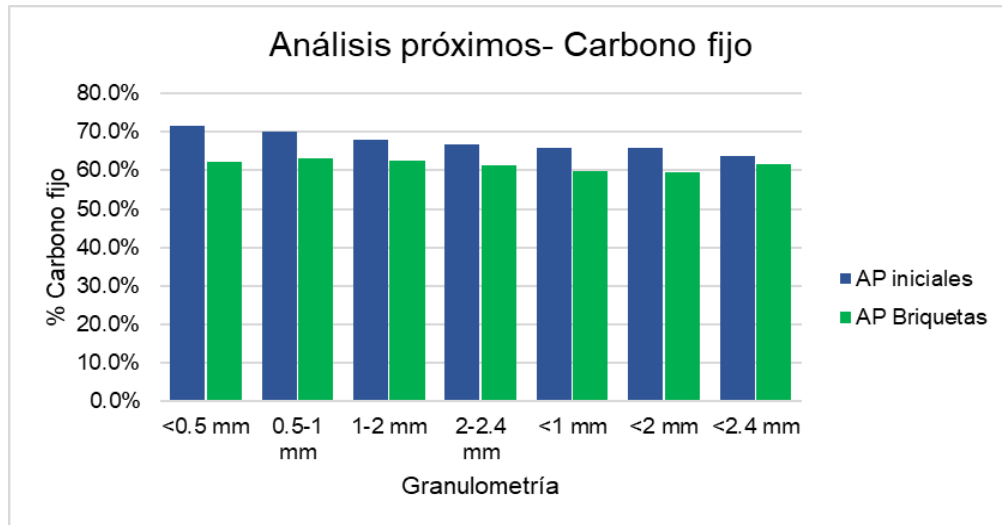
briquetas se obtuvo alrededor del 13% en el lote y esto, se debe a la adición del aglomerante, ya que el almidón de maíz contiene un alto porcentaje de material volátil alrededor del 96%.



Gráfica 8. Análisis próximos de material volátil en base seca

7.1.3.3. Carbono fijo

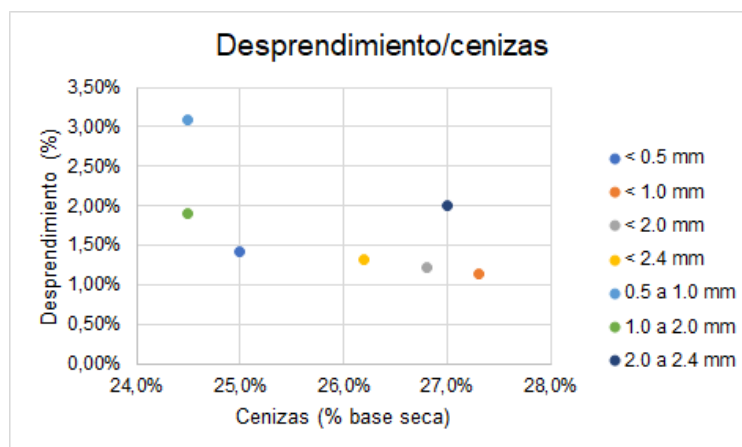
El carbono fijo representa la disponibilidad de material para la reducción de hierro, producción de monóxido de carbono, evaporar la humedad y proporcionar calor al proceso. En cuanto, al carbono fijo (gráfica 9) en las briquetas hubo una disminución en cuanto al material inicial, sin embargo, en general se obtuvo un porcentaje significativo, lo que permite deducir que puede llegar a tener un buen rendimiento en la producción de acero con una carga en alto horno.



Gráfica 9. Análisis próximos de carbono fijo en base seca

7.1.3.4. Drop Shatter Test

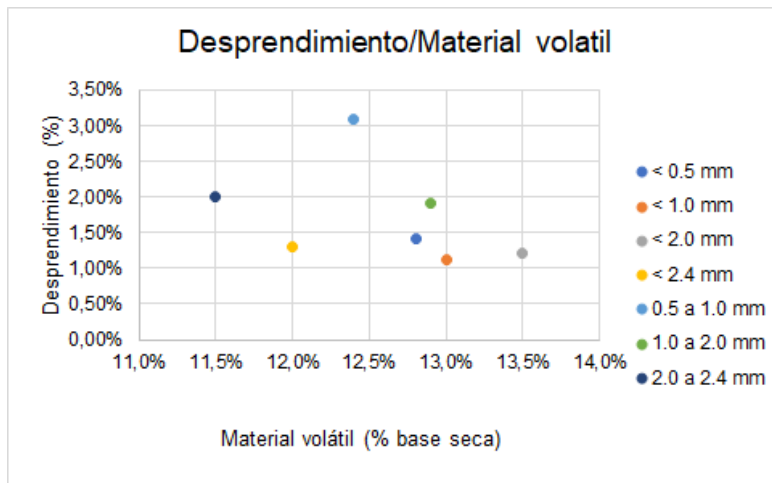
En cuanto a la relación desprendimiento y cenizas, se evidencia que las briquetas del material <1mm y < 2mm presentan índices de 0,041 y 0,045, siendo así las briquetas con mejor resistencia por su bajo desprendimiento de material, sin embargo, respecto a las cenizas de éstas son de las más altas.



Gráfica 10. Desprendimiento / cenizas

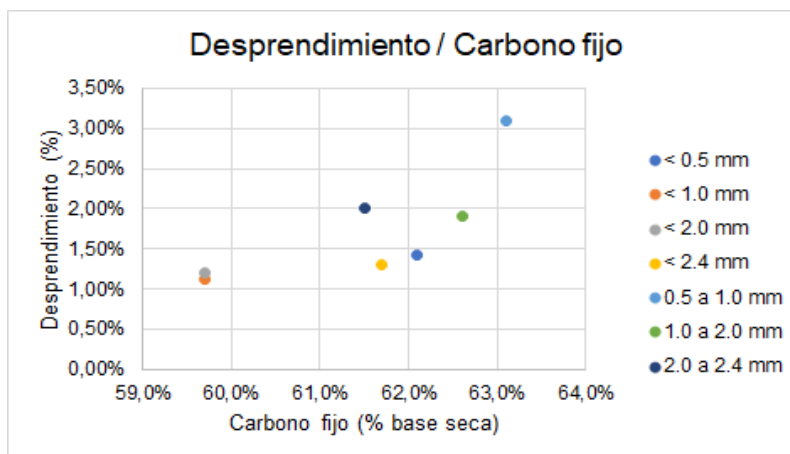
Los mejores índices de desprendimiento/material volátil han sido de las briquetas con material <1mm y <2mm, ya que fueron los menores con un valor de 0,087 y

0.090 respectivamente y se destaca que estas briquetas registran con relación al material volátil porcentajes de superiores al 13%.



Gráfica 11. Desprendimiento / Material volátil

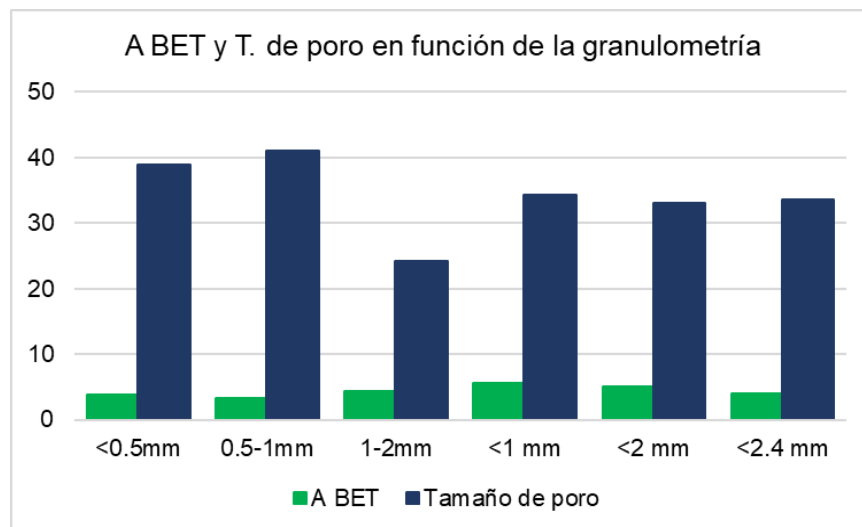
Nuevamente, se destaca las briquetas de <1mm y <2mm por ser los menores índices de desprendimiento/carbono fijo, ya que son de 0,019 y 0,020 respectivamente. Es importante mencionar que, en este caso estas briquetas presentan los menores porcentajes de carbono fijo, debido a que las cenizas y material volátil de las mismas es superior a las demás briquetas.



Gráfica 12. Desprendimiento / carbono fijo

7.1.3.5. Determinación de área superficial específica

En general, las muestras de fino de coque se encuentran entre 3.3 y 5.6 m²/g con relación al área BET. Se evidencia que las muestras de <0.5mm y 0.5-1mm presentan los tamaños de poros mayores, sin embargo, éstas tienen el área BET menor, y se puede deducir que el área BET es inversamente proporcional al tamaño de poro. Asimismo, se muestra un comportamiento similar en las muestras de <1 mm, <2 mm y <2.4 mm y se destacan por ser los materiales con áreas BET alrededor de los 5 m²/g. Esta información es muy importante en la caracterización de los finos de coque, ya que permite conocer la textura del material, así como, las propiedades electrostáticas, la dispersión de luz, la opacidad, las propiedades de sinterización, la cristalización, la retención de humedad y la caducidad.



Gráfica 13. A BET y tamaño de poro en función de la granulometría

Por otro lado, se realizó una revisión de la literatura para contrastar los resultados obtenidos en el fino de coque con materiales similares, y se logra ver que el área BET, volumen y tamaño de poro es similar a otros coques analizados en diferentes investigaciones.

Ítem	Tipo	Área BET (m ² /g)	Volumen total de poro (cm ³ /g)	Tamaño de poro-BJH (nm)	Fuente
1	Coque bruto	3	0.008	10.3	(Rico et al., 2019)
2	Coque activado	3.58			(Cardona-Gallo, 2006)
	Malla N 100 -H3PO4 -H2SO4	3.58			
	Coque activado	3.90			(Cardona-Gallo, 2006)
	Malla N 200 -H3PO4 -H2SO4	2.37			
3	Coque activado	3.78			(Cardona-Gallo, 2006)
	Malla N 140 -H3PO4 -H2SO4	2.73			
3	Carbones comerciales	500-1200	0.2-1.0	0.7-50	ASTM D-3037 ASTM C-699
	Carbón mineral	3.23	0.01	298.6	(Uribe et al., 2013)
	Carbón bituminoso	1000-1200		1-1000	(Díaz Ignacio & del Rosario Iturbe Arguelles, 2018)
	Carbón lignítico	600-820		1-1000	(Díaz Ignacio & del Rosario Iturbe Arguelles, 2018)

Gráfica 14. Revisión bibliográfica de áreas superficiales específicas

7.2. ANÁLISIS DE CALIDAD DE CARBONES Y COQUE

7.2.1. Toma de muestras de coques

En el desarrollo de la pasantía se evaluó la calidad de 3 productos de coque. A continuación, se describe la toma de muestras de cada tipo:

ITEM	PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
1	Coque todo 1	Se hace un recorrido en zig zag tomando en cada punto, 2 a 3 fragmentos del material y se va recolectando en una lona.	
2	Tuta	El operario que acomoda el material en los bolsones debe tomar de cada uno, una pequeña fracción de coque y almacenarlo en una lona para el análisis.	
3	Cali	El material se almacena en lonas con un peso aproximado 15 Kg y la muestra se toma por cada 50 lonas una fracción.	

Tabla 10. Toma de muestras de coques

En la empresa se utilizan 4 tipos de carbones para la coquización y la toma de muestra se realiza igual para todos. Consiste en excavar con una pala en forma de espiral a lo largo de la pila de carbón e ir almacenando en una lona una fracción de material en cada excavación.



Ilustración 14. Toma de muestra de carbón

7.2.2. Análisis de muestras de coque y carbón

En la compañía, el análisis de calidad tanto de carbones como de coques se lleva a cabo bajo la metodología ASTM D 3173 (humedad), ASTM D 3175 (material volátil) y ASTM D 3174 (cenizas).

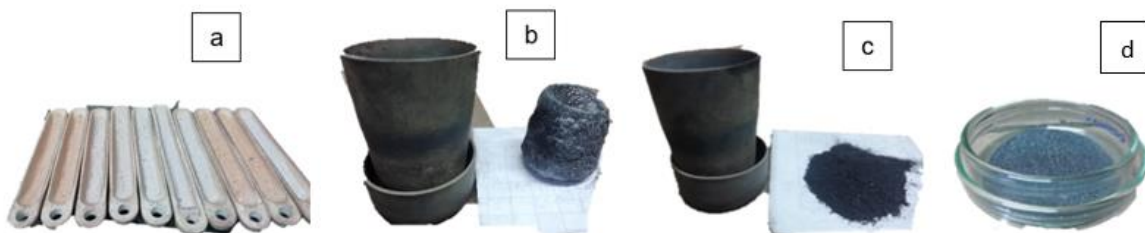
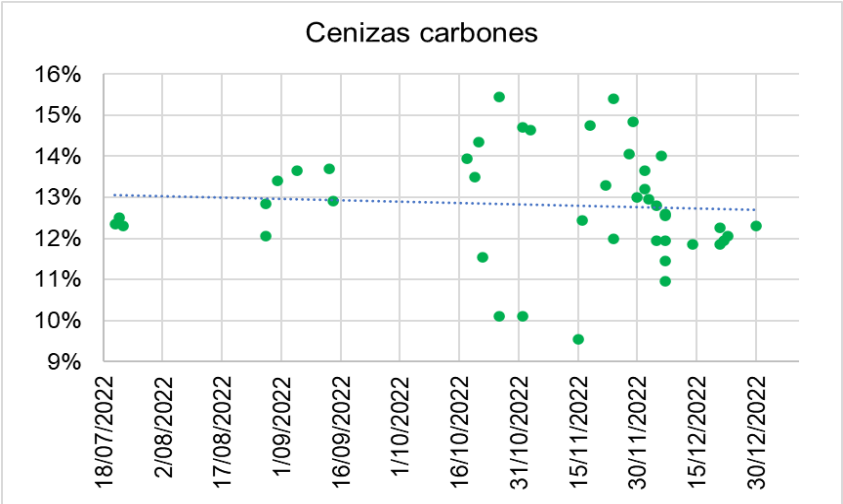


Ilustración 15. Análisis próximos de coque y carbón

- a. cenizas de carbones y coques b. Material volátil de carbón c. Material volátil de coque d. Humedades de carbón y coque

En el periodo de 4 meses, se analizaron 45 muestras de carbón. En cuanto a las cenizas de éstos, se evidencia que en el mes de octubre y noviembre fueron superiores a 12%, y representa baja calidad, lo que eventualmente afectó la calidad

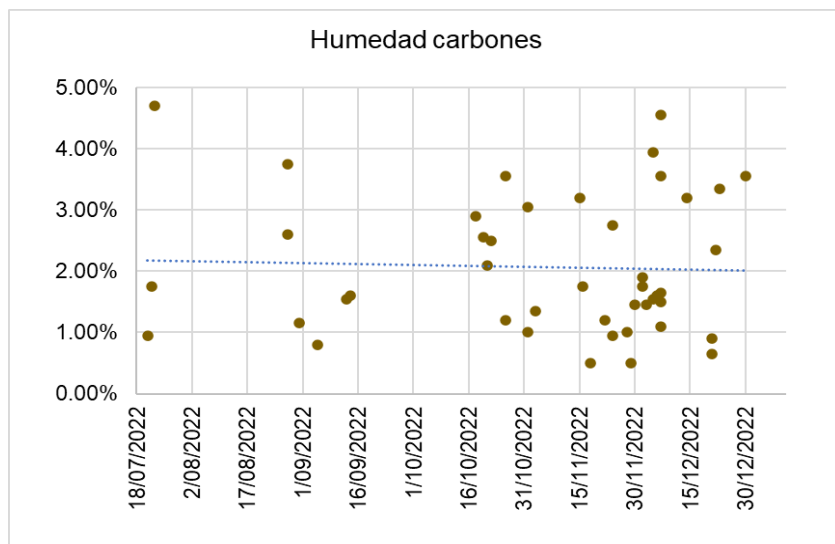
en el proceso de coquización. Se reportó cenizas de 15.45% siendo el registro más alto, en promedio las cenizas fueron de 12%, y el registro más bajo fue de 9.55%, figurando, así como el carbón de mejor calidad. La desviación estándar de las muestras analizadas fue de 0.0133.



Gráfica 15. Porcentaje de cenizas en carbones

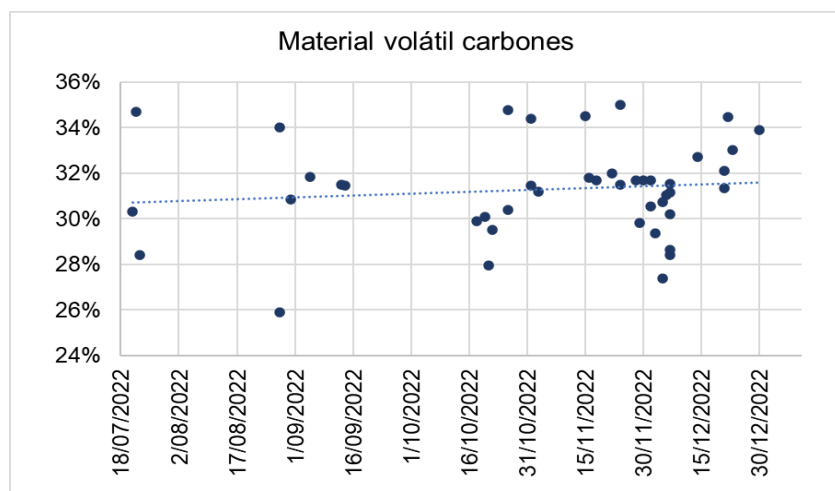
La importancia del control de la humedad de los productos va orientada principalmente para la operación, análisis y transporte de los mismos, ya que un material muy húmedo ($H > 3$) dificulta el flujo de trabajo en molinos y cribas, asimismo, para el análisis de la muestra en caso de presentar alto contenido de humedad se debe hacer un pre-secado para poder determinar las características reales del producto. Por otro lado, en el transporte la humedad representa un sobrepeso.

En general, se registró en promedio una humedad del 2,04%, sin embargo, se encontró humedades de hasta 4.7% lo que es muy probable que haya representado retrasos en la operación. La desviación estándar para este parámetro fue de 0.011.



Gráfica 16. Porcentaje de humedad en carbones

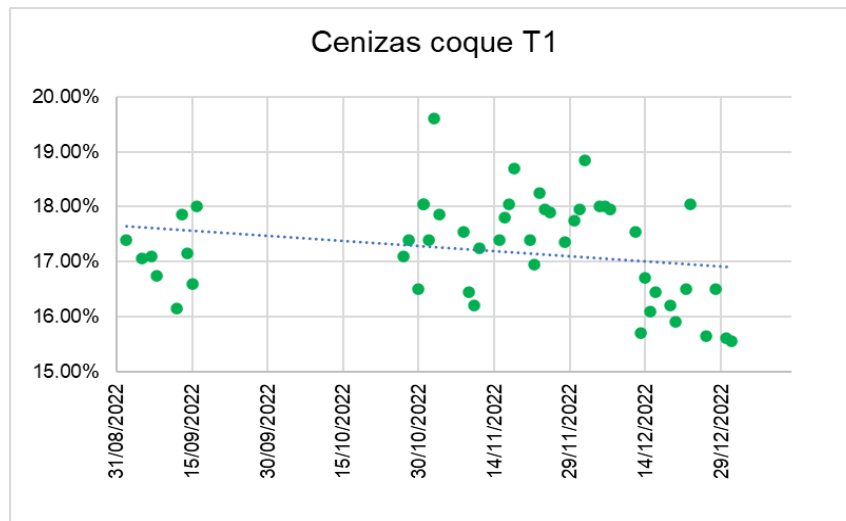
En cuanto a el material volátil en el carbón, éste se ve afectado por la humedad, ya que, a mayor humedad en el carbón, mayor será el material volátil. En promedio, se registró de 31.1% y una desviación estándar de 0.023



Gráfica 17. Porcentaje de material volátil en carbones

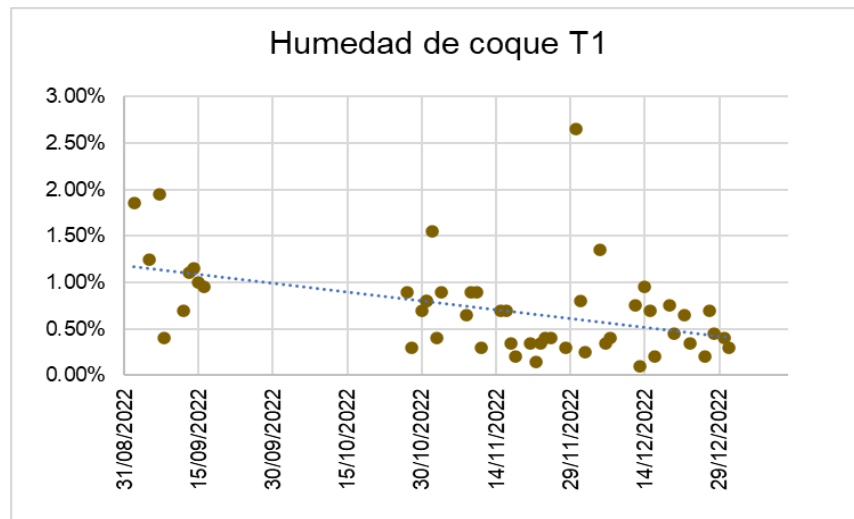
Se analizaron en total 51 muestras de coque todo uno, en promedio las cenizas fueron del 17,19%, sin embargo, como se mencionó anteriormente la producción principalmente de noviembre se vio afectada por la calidad del carbón empleado en la coquización, ya que se reportó cenizas superiores a 17%, asimismo, se alcanzó

hasta un 19,6% en el mismo mes. La desviación estándar para el total de muestras fue de 0.009.



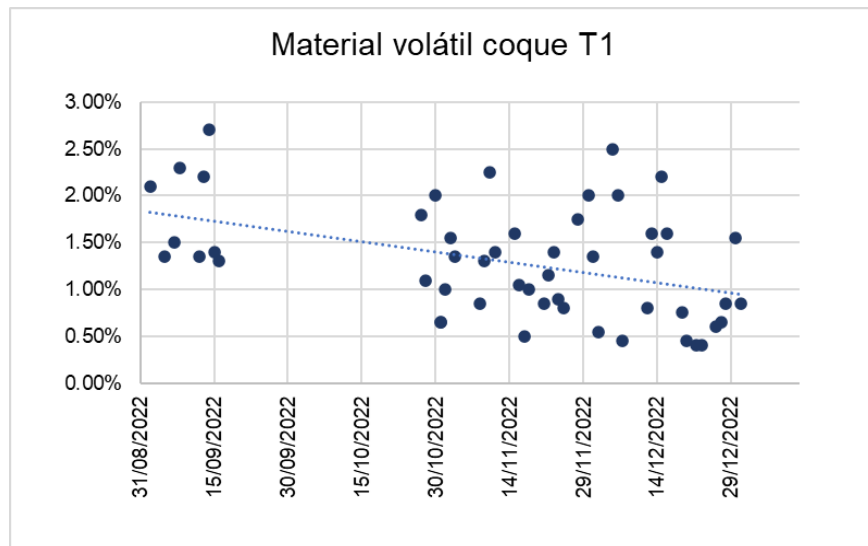
Gráfica 18. Porcentaje de cenizas en coque todo 1

La humedad en el coque todo 1, varía en un rango de 0,1% a 1% normalmente, la desviación estándar fue de 0.004. Sin embargo, se encontraron muestras con humedades mayores a 1.5%, el cual está en el rango admisible, ya que, por especificaciones técnicas de los clientes, este parámetro debe ser inferior a 3%.



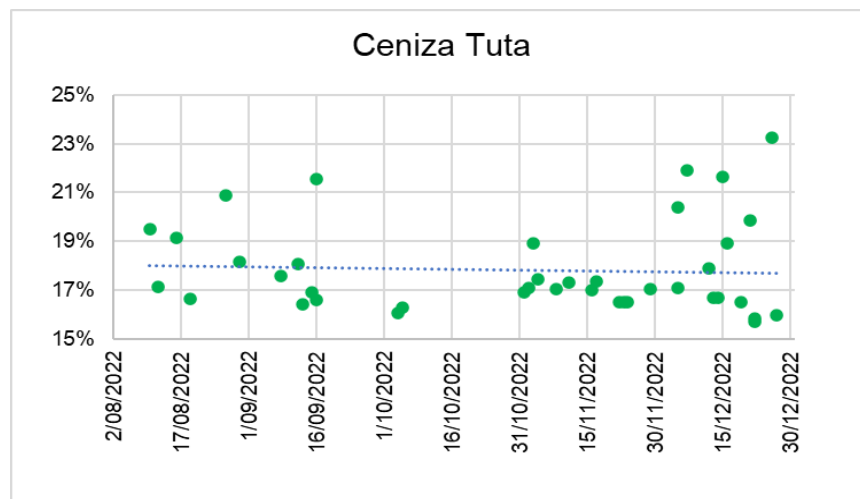
Gráfica 19. Porcentaje de humedad en coque todo 1

En el coque todo 1 se evidenció un registro de material volátil entre 0.5% a 2.5%, sin embargo, en promedio fue de 1.3% y la desviación estándar es de 0.006.



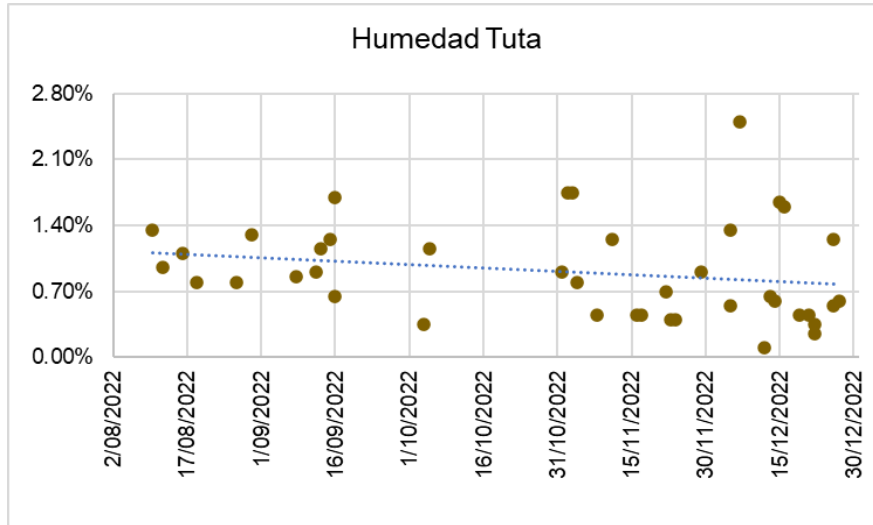
Gráfica 20. Porcentaje de material volátil en coque todo 1

El coque de tuta, es un subproducto del coque todo 1 y se manejan 2 granulometrías (1-2" y 2- 8 mm). Las cenizas se encuentran en un rango de 15% a 23%, y es importante mencionar que se le atribuye altos valores en cenizas al coque de menor granulometría, ya que alcanzó un porcentaje hasta de 23.29%. En promedio se presentaron cenizas de 17,19% y una desviación estándar de 0.019 de las 41 muestras analizadas.



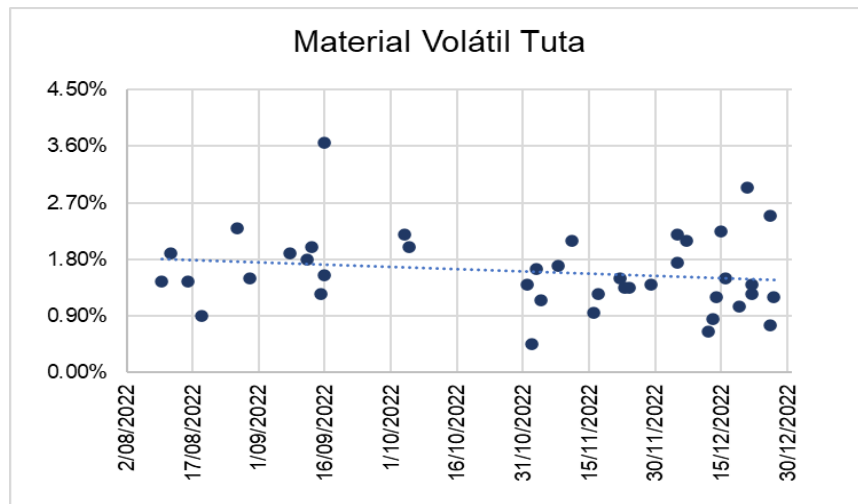
Gráfica 21. Porcentaje de cenizas en coque- Tuta

En promedio se presentó una humedad del 0,91% en el coque de tuta, se registró un máximo de 2.50% y la desviación estándar fue de 0.005



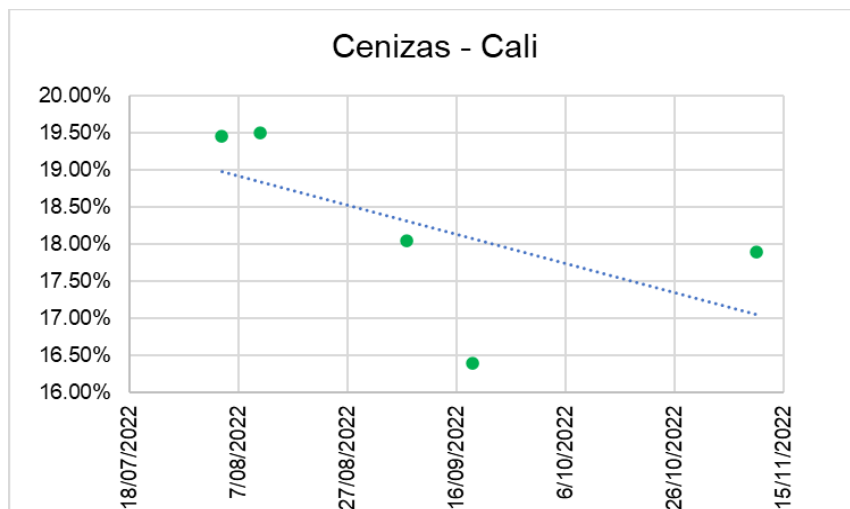
Gráfica 22. Porcentaje de humedad en coque - Tuta

El material volátil para el coque de tuta está en el rango de 0,75% a 2,95%, pero se registró un máximo de 3,65% y puede ser debido a que la muestra presentaba una humedad alta. La desviación estándar fue de 0.006.



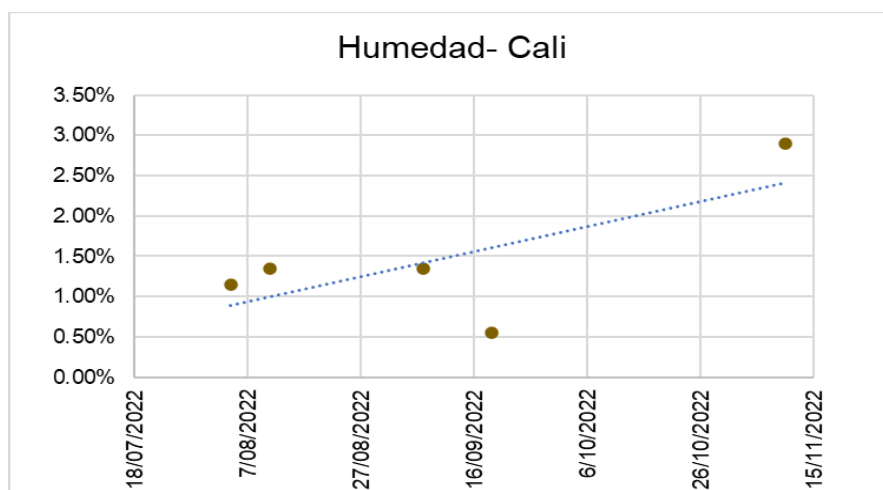
Gráfica 23. Porcentaje de material volátil en coque- Tuta

Respecto al producto enviado a Cali, es un coque fino que presentó cenizas entre 16% a 19,5% y en total se analizaron 5 muestras. La desviación estándar fue de 0.013.



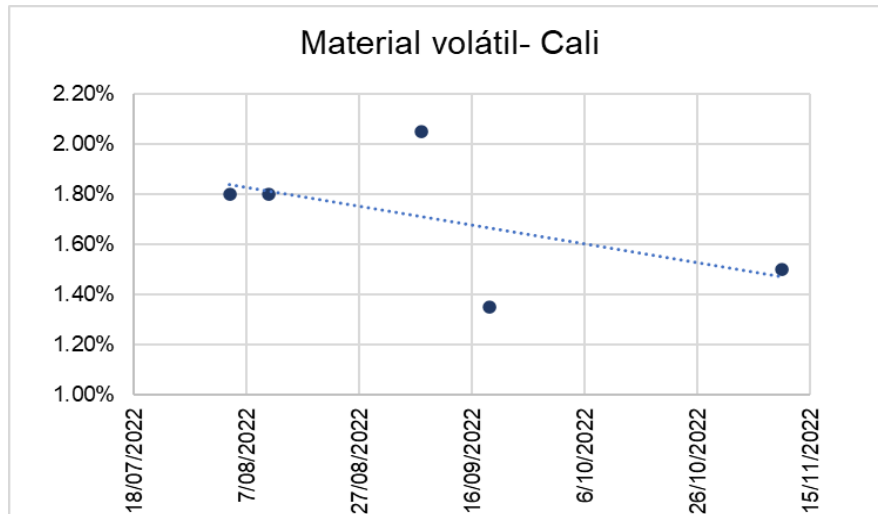
Gráfica 24. Porcentaje de cenizas en coque-Cali

En las muestras del coque de Cali se presentaron humedades entre 0.5% a 3% y una desviación estándar de 0.009.



Gráfica 25. Porcentaje de humedad en coque - Cali

En promedio las muestras del producto de Cali, fue de 1,7% y una desviación estándar de 0.003








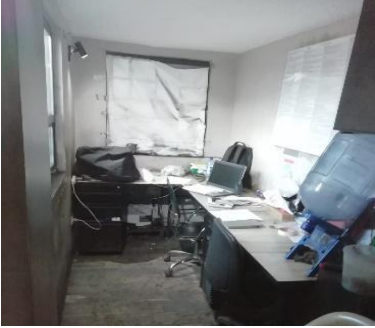




Gráfica 26. Porcentaje de material volátil en coque- Cali

7.3. FORMULACIÓN DE PLANES PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN, SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

7.3.1. Plan de orden y aseo

En el desarrollo de la pasantía se formuló el programa de orden y aseo con el fin de desarrollar acciones establecidas en el marco de prevención y control de riesgos en áreas de trabajo, como parte de la implementación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo correspondiente a las actividades de higiene y seguridad industrial. Inicialmente, se realizó un diagnóstico en cada una de las áreas de la planta y estos fueron los principales hallazgos:

ÁREA	EMPLEADOS	OBSERVACIONES	REGISTRO FOTOGRAFICO
Montaje de molienda de carbón	Erika Sierra, Jorge Quijano, Nury Espinoza, Marlene Montañez	Hay materiales desorganizados, que no cuentan con un punto estratégico para su almacenamiento.	
Montaje de molienda de coque	Erika Sierra, Jorge Quijano, Nury Espinoza, Marlene Montañez	En el puesto de trabajo hay elementos que ya cumplieron su vida útil y también hay desorden en el almacenamiento de costales y bolsones.	 
Montaje de pulverizado de coque	Erika Sierra, Jorge Quijano, Nury Espinoza, Marlene Montañez	Hay elementos mal almacenados, la maquinaria está deteriorada, se evidencia mucha suciedad.	 

Oficina	Yiseth Ballesteros	Hay desorden de documentación.	
Vestuario	Erika Sierra, Jorge Quijano, Nury Espinoza, Marlene Montañez, Yessica Rodriguez, Oswaldo Diaz	Los elementos personales de los trabajadores están desorganizados, se evidencia suciedad en el área.	
Almacén	José Quijano	Los costales y bolsones están mal almacenados, se encuentran cosas que ya cumplieron su ciclo de vida, hay suciedad en el área.	
Área de mantenimiento	Javier Morales	Hay materiales mal almacenados, se evidencia material en desuso.	
Hornos	Jefferson López, Ricardo Gámez	Las herramientas no cuentan con un lugar para su disposición, los materiales no están bien almacenados.	


<p>Áreas comunes</p>	<p>Erika Sierra, Jorge Quijano, Nury Espinoza, Marlene Montañez, Yessica Rodriguez, Oswaldo Diaz, Yiseth Ballesteros</p>	<p>Se evidencia desorden y suciedad en las áreas.</p>	
----------------------	--	---	--

Tabla 11. Diagnóstico del plan de orden y aseo

7.3.1.1. Metodología

La metodología de las 5S es una técnica de origen japonés que agrupa una serie de actividades que se desarrollan con el objetivo de crear condiciones de trabajo que permitan la ejecución de labores de forma organizada, ordenada y limpia. Dichas condiciones se crean a través de reforzar los buenos hábitos de comportamiento e interacción social, creando un entorno de trabajo eficiente y productivo.



Ilustración 16. Metodología plan de orden y aseo

Fuente: Perfimet, n.d.)

La etapa de clasificación está orientada a separar los objetos y documentos por clases, tipos, tamaños, categoría o frecuencia de uso.

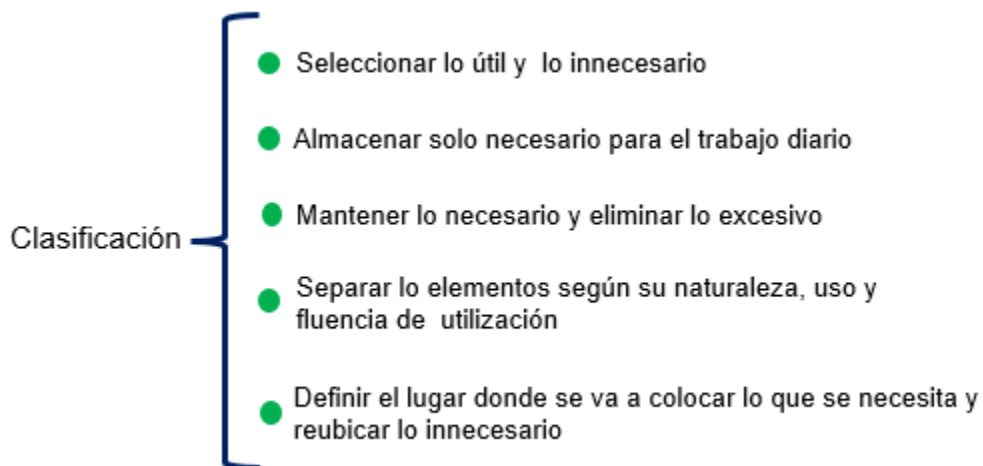


Ilustración 17. Acciones etapa para la de clasificación

Es importante organizar los elementos clasificados como necesarios, de modo que se puedan encontrar con facilidad. Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar.

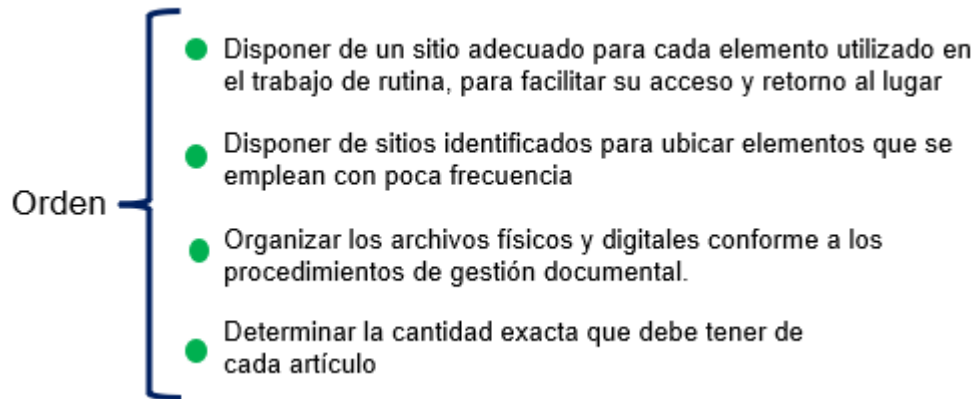


Ilustración 18. Acciones para la etapa de orden

El eliminar el polvo y la suciedad de todos los elementos, implica identificar las fuentes de suciedad y contaminación para eliminarlas

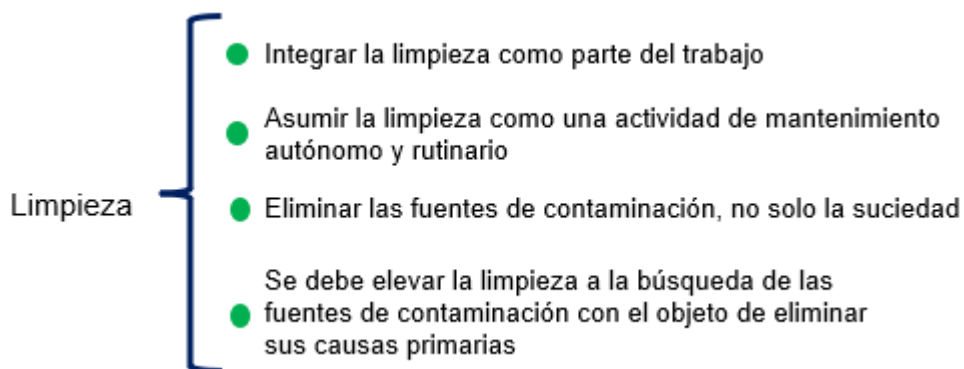


Ilustración 19. Acciones para la etapa de limpieza

Estandarizar es la fase que nos permite mantener los logros alcanzados. Unifique y cumpla con sus tareas de orden y aseo

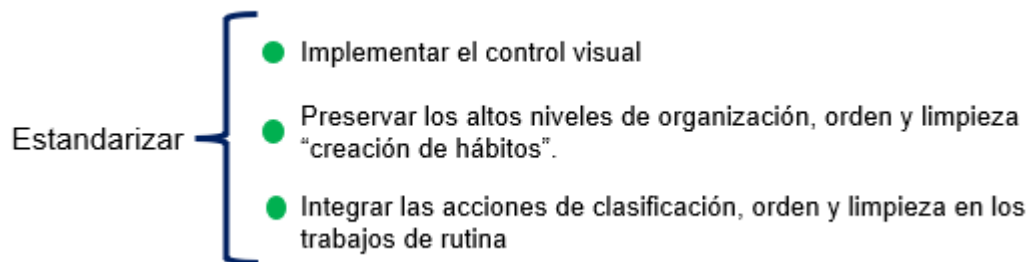


Ilustración 20. Acciones para la etapa de estandarizar

La disciplina permite convertir en hábito el cumplimiento de los estándares de orden y limpieza en el lugar de trabajo

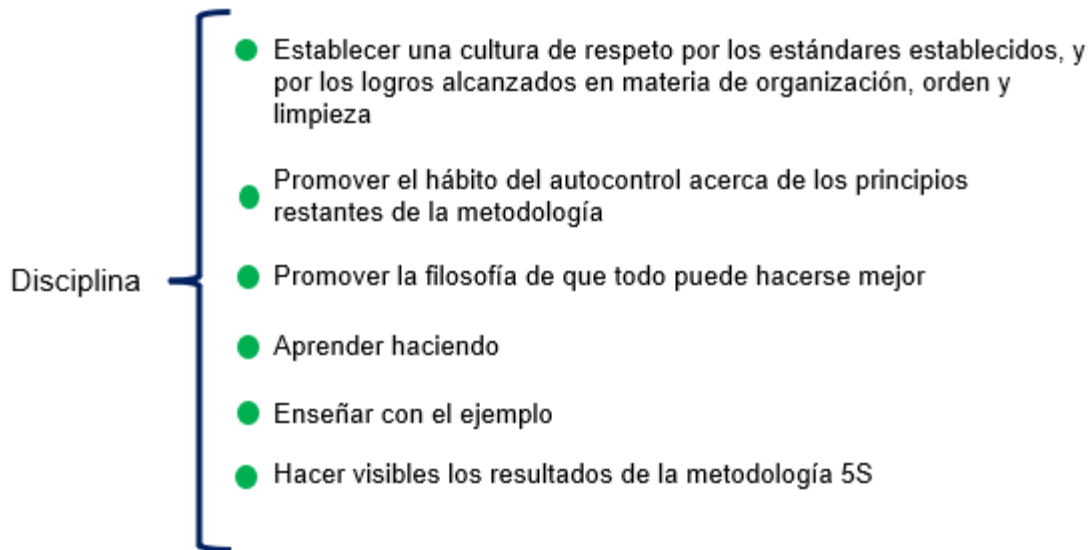


Ilustración 21. Acciones para la etapa de disciplina

Sensibilidad y capacitación

Se realizarán capacitaciones al Comité Paritario de Seguridad y Salud en el Trabajo (COPASST), con el fin de implementar el programa de orden y aseo. Asimismo, se socializará el cronograma de actividades, funciones y responsabilidades que deberá ejecutar todos los integrantes de la empresa Germán Franco Carbón S.A.S, para el desarrollo de las estrategias mediante la metodología de las 5S y finalmente, se dará a conocer el interés de la gerencia por implementar el programa y la trascendencia que tiene su participación para cumplir con este fin, y el compromiso en el desarrollo del mismo.

Implementación de la metodología 5S

En la implementación de la metodología de las 5S, el COPASST realizará un diagnóstico trimestral de las diferentes zonas de la empresa, a través del Formato de diagnóstico- Programa de Orden y aseo. A continuación, se describe cómo se llevará a cabo la metodología en sus diferentes fases:

Fase de clasificación

Los empleados dispondrán de máximo 20 min trimestralmente para clasificar los elementos que son útiles e inútiles para sus actividades laborales, en el área de trabajo en el que se desempeñan cotidianamente, esto con el fin de lograr despejar espacios y obtener flujos de trabajo óptimos para el desarrollo de sus obligaciones dentro de la empresa. Dicha clasificación deberá ser aprobada por el jefe de planta a través del formato de Clasificación- Programa de Orden y aseo, el cual será diligenciado por el líder de cada área de la empresa.

Fase de Orden

Esta fase se iniciará 8 días después de ejecutar la fase de clasificación, el cual está orientada a disponer puntos estratégicos para herramientas, equipos, archivos, cosas personales, entre otros, para así poder acceder rápidamente a ello, de acuerdo a la necesidad del momento. Dichos puntos deberán ser señalizados y socializados con todos los empleados de la entidad. Es responsabilidad de cada trabajador dejar los elementos en el lugar que se destinó para su almacenamiento, para así evitar pérdidas y alterar el orden en los lugares de trabajo. En esta fase se dispondrá de 15 min para su ejecución cada 15 días.

Fase de Limpieza

Con relación a la limpieza, esta fase se llevará a cabo el mismo día en la que se desarrolla la fase de orden y se dispondrá de 30 a 50 min para que los trabajadores realicen la limpieza de su lugar de trabajo y será responsable de mantenerla limpia para que no se delegue esta función al exclusivamente al personal de servicios generales. Con relación a áreas comunes tales como pasillos, vías de acceso y escaleras, la limpieza la realizará en conjunto los empleados.

Fase de Estandarización

Es importante que el orden y aseo perdure para lograr altos niveles de organización y poder crear hábitos que sean parte de la rutina de los empleados con las siguientes acciones:

- Se debe garantizar lugares de trabajo limpios y organizados
- En el puesto de trabajo solo debe estar los elementos que se necesitan para la ejecución de actividades laborales
- Debe garantizarse que en las áreas de almacenamiento todo esté identificado
- Los residuos deben disponerse en canecas de colores como se estipula en resolución 2184 del 2019

Fase de Autodisciplina

En esta fase es indispensable la motivación, apoyo y liderazgo por parte de la gerencia. Se requiere que el personal cuente con el tiempo, la capacitación y los elementos para llevar a cabo cada una de las actividades expuestas anteriormente. En esta última fase de la metodología, el COPASST realizará regularmente el chequeo a cada fase de la implementación del programa de orden y aseo, verificará si los empleados mantienen sus puestos de trabajo limpios y ordenados. Finalmente, se trabajará en lograr una cultura de respeto por los estándares establecidos, y por los logros alcanzados en materia de organización, orden y limpieza, haciendo visible los resultados de la metodología implementada.

Inspecciones

Las inspecciones en las distintas áreas de trabajo se harán al terminar la jornada de orden y aseo, con el fin de determinar el avance de la implementación, estandarización y la transformación de hábitos como se estipula en el programa de orden y aseo.

Cronograma

A continuación, se describe el cronograma de la implementación del plan:

ACTIVIDAD	HORA DE INICIO	HORA DE FINALIZACIÓN	RESPONSABLE	MES DE IMPLEMENTACIÓN			
				1	2	3	4
Diagnóstico de condiciones iniciales	8:00 am	11:00 am	Auxiliar de SG-SST				
Socialización del programa	11:00 am	11:20 am	Profesional y auxiliar SG-SST				
Campaña visual			Auxiliar de SG-SST				
Fase de clasificación	11:00 am	11:20 am	Auxiliar de SG-SST				
Fase de orden	11:00 am	11:15 am	Auxiliar de SG-SST				
Fase de Limpieza	11:20 am	12: 10 pm	Auxiliar de SG-SST				
Inspecciones	12:15 pm	12:30 pm	COPASST /Auxiliar SG-SST				

Tabla 12. Cronograma del plan de orden y aseo

7.3.2. Plan de promoción y prevención de riesgos laborales

Se implementa el programa promoción y prevención con el objetivo de brindar estrategias de promoción, prevención para la salud y seguridad en el trabajo, para evitar factores de riesgos a los que son expuestos el desarrollo de sus funciones y así garantizar una calidad de vida y ambiente laboral, en el marco de prevención y control de riesgos en áreas de trabajo, como parte de la implementación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo.



Ilustración 22. Evidencia del no uso de EPP

En la empresa se evidencia, que algunos trabajadores no usan los elementos de protección personal (EPP) (ilustración 17) suministrados para su seguridad en el desarrollo de sus actividades laborales. Por ello, uno de los enfoques del presente plan es capacitar e incentivar el uso adecuado de los EPP para reducir enfermedades y riesgos laborales.

Por otro lado, se evaluó el índice de masa corporal de los empleados (tabla 14) con el objetivo de implementar la promoción de hábitos saludables en el trabajo y en su vida cotidiana. Se busca capacitar e incentivar que los trabajadores adquieran hábitos de vida saludable, a través de pausas activas, actividades recreativas, entre otras, dentro del marco de bienestar laboral.

ITEM	EMPLEADO	PESO (Kg)	ESTATURA (m)	IMC	OBSERVACIÓN
1	Nury Espinosa	57	1.57	23.12	PESO SALUDABLE
2	Erika Sierra	57	1.54	24.03	PESO SALUDABLE
3	Jorge Quijano	68	1.69	23.81	PESO SALUDABLE
4	Jefferson López	54	1.64	20.08	PESO SALUDABLE
5	Javier Morales	70	1.63	26.35	SOBREPESO

6	José Muñoz	85	1.65	31.22	OBESIDAD
7	Yessica Rodriguez	52	1.6	20.31	PESO SALUDABLE

Tabla 13. Índice de masa corporal de los empleados

Criterios de evaluación del IMC:

- Si el IMC es inferior a 18.5 = delgadez o bajo peso.
- Si el IMC es entre 18.5 y 24.9 = normales o de peso saludable.
- Si el IMC es entre 25.0 y 29.9 = sobrepeso
- Si el IMC es 30.0 o superior = obesidad

7.3.2.1. Metodología

El programa de promoción y prevención de riesgos laborales se hará bajo la metodología del ciclo de PHVA (planificar, hacer, verificar y actuar) con el objetivo de brindar herramientas para el mejoramiento integral de la compañía, en el marco del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud del trabajo. Gracias a que el ciclo PHVA permite desarrollar diversas dinámicas se logra llevar a cabo los objetivos planteados logrando mayor eficiencia.

Planificar

En esta fase se plantean los objetivos y las acciones para lograrlos, en concordancia a políticas y requerimientos de los interesados. Para desarrollar esta etapa es necesario grupos organizados de trabajo, involucrar la opinión de los empleados, así como el uso de un software de planificación. Una buena planificación llevará a ejecutar las demás etapas del ciclo de forma exitosa.

Hacer

Es ejecutar lo planeado, en esta etapa es recomendable hacer pruebas pilotos antes de implantar los procesos definidos. En su desarrollo se puede evidenciar los

problemas que se tienen en la implementación, se identifican las oportunidades de mejora y su implementación.

Verificar

Es importante, hacer la verificación del cumplimiento de los objetivos planeados a través de inspecciones y control de los procesos, dando cumplimiento a las políticas y al plan de trabajo establecido inicialmente.

Actuar

Es en esta fase finalmente, donde a través de diferentes acciones se da cumplimiento con mayores rendimientos en las operaciones, se toma decisiones, se estandarizan cambios, se capacita y se determina la metodología de monitoreo. En consecuencia, la metodología PHVA permite intervenir en los procesos y no, sobre los trabajadores y así lograr mejores resultados en la operación integral de la compañía.

Sensibilidad y capacitación

Se realizarán capacitaciones a los empleados con el fin de implementar el programa de promoción y prevención de riesgos laborales, orientado a formarlos en temas de uso adecuado de elementos de protección personal, prevención y mitigación de riesgos laborales, y estrategias para adquirir hábitos de vida saludable. Asimismo, se socializará el cronograma de actividades, funciones y responsabilidades que deberá ejecutar todos los integrantes de la empresa Germán Franco Carbón S.A.S, para el desarrollo de las estrategias mediante la metodología del ciclo PHWA y finalmente, se dará a conocer el interés de la gerencia por implementar el programa y la trascendencia que tiene su participación para cumplir con este fin, y el compromiso en el desarrollo del mismo. A continuación, se describe cómo se llevará a cabo la metodología en sus diferentes fases:

Planificación

En esta fase, se establecen acciones destinadas al cumplimiento de los objetivos dentro de la empresa, se evaluará el estado actual la implementación del sistema en la organización a través de acciones como:

ÍTEM	ACCIÓN	RESULTADO
1	Diagnóstico	<ul style="list-style-type: none"> • Perfil socio-demográfico • Análisis de las condiciones de salud de los trabajadores • Evaluación y análisis de las estadísticas sobre la enfermedad y la accidentalidad ocurrida en los dos últimos años en la empresa
2	Elaboración de la matriz de riesgos	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de peligros • Evaluación y valoración de riesgos, bajo la metodología establecida en la guía para la Identificación de Peligros y la Valoración de los Riesgos en Seguridad y Salud Ocupacional.
3	Capacitación	<ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento del Programa anual de capacitaciones.
4	Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de frecuencia • Índice de gravedad • Índice de incidencia • Índice de duración media de las bajas

Tabla 14. Evaluación del estado del SG-SST

Hacer

Esta etapa está enfocada a la implementación de estrategias para identificar, evaluar, prevenir, valorar y llevar a cabo medidas preventivas y correctivas de manera oportuna. A continuación, se mencionan las acciones:

- Se debe hacer periódicamente evaluaciones del estado de la salud de los trabajadores, a través de exámenes de ingreso y egreso. También hacer vigilancia epidemiológica para prevenir enfermedades laborales derivadas de

las actividades que se desarrollan en el entorno laboral, asimismo, es importante identificar las efectividades de las medidas de prevención y control.

- Desarrollar un plan de prevención, preparación y respuesta ante emergencias.
- Implementación de pausas activas, actividades de recreación / deportivas
- Implementación de la semana de la salud
- Distribución y mantenimiento de EPP (Elementos de protección personal)
- Generar estadísticas de ausentismo y accidentalidad laboral

Verificar

En esta etapa se lleva a cabo la valoración del desempeño de la implementación, registro y seguimiento del plan, mediante auditorías internas y externas, así como investigaciones de incidentes, accidentes y enfermedades debido al entorno laboral en el que se desempeñan los trabajadores. Esto con el objetivo de identificar fortalezas y deficiencias durante el desarrollo del plan y luego, establecer acciones de mejora continua.

Actuar

Esta etapa del ciclo PHVA, se centra en definir los criterios para la gestión de acciones correctivas, preventivas y de mejora continua, de tal forma que se identifiquen, analicen y eliminen las causas de las situaciones reales o potenciales no deseadas, y se establezcan las actividades necesarias para prevenir que éstas ocurran, además de aquellas que lleven a mejorar los procesos.

8. APORTES

8.1. APORTES COGNITIVOS

En el desarrollo de la pasantía en la empresa German Franco Carbón S.A.S, se pudo aplicar los conocimientos adquiridos en la formación académica, lo que permitió ejecutar con éxito las diferentes labores asignadas. Los aportes más relevantes fueron:

- Se logró la caracterización de los finos de coque resultantes de la coquización en la empresa, así como la fabricación de briquetas con diferentes granulometrías llevando a cabo diferentes análisis para evaluar la calidad de las mismas a través de análisis próximos, determinación del área superficial y Drop Shatter test. En efecto, la investigación realizada contribuirá a incentivar el interés de universidades y empresas por continuar con estudios que permitan incorporar los finos tanto de coque como de carbón a los procesos productivos de diferentes industrias, ya que actualmente este material no tiene utilidad, pero si representan un pasivo ambiental.
- Se apoyo con la toma de muestra y reporte de resultados de los laboratorios de calidad de los carbones y coques producidos en la empresa, logrando así una base de datos digital y dinámica que permite informar en tiempo real los resultados de los análisis próximos de los productos, para el control de calidad a cargo de la jefe de planta y así dar cumplimiento con las especificaciones técnicas de los clientes.
- Se aportó con la formulación de 2 planes para el SG-SST de la compañía con el fin de brindar estrategias que le permitan alcanzar un ambiente laboral ordenado, limpio y seguro para todos los integrantes de la empresa, y así se logre la disminución de riesgos laborales y mejoras en los rendimientos operacionales.

8.2. APORTES AMBIENTALES Y SOCIALES

Con el desarrollo de la investigación de las briquetas se busca reusar los polvos finos, que son considerados como material de desecho de los procesos coquización disminuyendo el impacto ambiental. Además, se busca divulgar los principales hallazgos obtenidos a universidades, empresas, profesionales independientes e interesados y que así se incentive la experimentación con diferentes aglomerantes, diseños de mezcla, desarrollo de análisis físicos, químicos y mecánicos de las briquetas, así como la incorporación de diferentes disciplinas profesionales para a futuro lograr un producto innovador y de calidad.

8.3. APORTES ECONÓMICOS

Actualmente, el sector minero busca que su modelo económico además de generar rentabilidad sea sostenible, es por ello, que la incorporación de la comercialización de las briquetas realizadas en la empresa Germán Franco Carbón S.A.S, puede representar una solución a la problemática de generación de finos de coque, logrando más oportunidades de empleo y desarrollo económico de diferentes comunidades.

CONCLUSIONES

- En el desarrollo de la pasantía en la empresa Germán Franco Carbón S.A.S, se llevó a cabo actividades que apoyaron y generaron mejoras a los procesos productivos de la compañía en diferentes áreas tales como: calidad, investigación y Seguridad y salud en el trabajo.
- De acuerdo con los análisis próximos realizados en las cenizas se evidencio una diferencia en los resultados (en base seca), con relación a los finos y briquetas analizados en las muestras 1-2mm, 2-2.4mm, < 1mm, <2mm, <2.4mm, donde hubo una disminución de 1.3%, 0.6%, 2.5%, 2.6 y 4,8% respectivamente, esto se le atribuye al bajo porcentaje de cenizas en el almidón de maíz ya que oscila entre el 0.5%. Se concluye que las briquetas con mejores cenizas son de <0.5mm, 0.5-1mm y 1-2mm con un valor cercano al 25%, sin embargo, las briquetas de 2-2.4 mm y <1mm presentaron los mayores porcentajes, registrando valores alrededor del 27%.
- Con relación a las briquetas, se evidencia baja calidad debido al alto porcentaje registrado en cenizas, ya que superan el 12% y por ello, no serían aptas para procesos siderúrgicos. Sin embargo, serían adecuadas para ser empleadas como combustible en actividades como el secado de café, procesamiento de caliza, entre otros.
- El Drop Shatter Test permitió evaluar las briquetas en cuanto a la capacidad de resistir a la rotura tanto en la manipulación, como en el transporte y distribución del producto a los clientes. En general las briquetas presentaron buena resistencia y se concluye que es viable aglomerar el material en las distintas granulometrías. Sin embargo, se destacan las briquetas fabricadas con finos de <1mm y <2mm ya que registraron los índices de desprendimiento con relación a cenizas y materia volátil más bajos.

- El material fino empleado en la briquetización presentó tamaños de poros < 50nm y por ello, se categorizó como mesoporoso de acuerdo a la clasificación de la IUPAC. El área BET osciló entre 3.3 – 5.6 m²/g y en las isotermas de adsorción de N₂ se presentó el fenómeno de histéresis en todas las muestras y ello, permite concluir que los finos de coque estudiados tienen la capacidad de retener líquidos/gases. Por otro lado, de acuerdo a la revisión bibliográfica, los finos de coque en sus diferentes granulometrías tuvieron características similares a diferentes coques empleados en otras investigaciones, sin embargo, frente a los carbones se evidencian rango muy alto al presentado en el presente estudio.
- Los análisis próximos representan un método muy importante para la empresa Germán Franco Carbón S.A.S, ya que permiten monitorear y tomar decisiones con relación a la calidad de sus productos y así brindar un coque de acuerdo con las especificaciones técnicas de los clientes.
- La implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), a través de diferentes planes brinda a la compañía herramientas para fomentar entornos de trabajo seguros, ordenados y limpios, logrando así, bienestar y calidad laboral. Y en efecto, la disminución de accidentes, enfermedades y riesgos laborales, así como mejor flujo y calidad en los procesos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar el comportamiento de diferentes aglomerantes con el fin de que las briquetas no presenten aumento de cenizas ni de material volátil con relación a la composición del fino de coque empleado, y a futuro las briquetas presenten estándares de calidad que permitan ser empleadas en diferentes industrias.
- Es importante realizar más análisis con el fin de caracterizar integralmente las briquetas. Se recomienda llevar a cabo análisis últimos, determinar el índice de micum, el valor de solidez, índice de abrasividad, pruebas de resistencia a la compresión, así como la composición química, entre otros.
- Con relación al Sistema de Gestión Seguridad y Salud en el trabajo, es importante realizar un plan anual de trabajo con el fin de ejecutar los diferentes planes de forma eficiente y así brindar bienestar laboral y mejores rendimientos en la operación de todas las áreas de la planta.

REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Minería. (n.d.). *Ficha del carbón*. Retrieved February 17, 2023, from https://www.anm.gov.co/sites/default/files/ficha_carbon_es.pdf
- Babich, A., & Senk, D. (2018). Coke in the iron and steel industry. In *New Trends in Coal Conversion: Combustion, Gasification, Emissions, and Coking* (pp. 367–404). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102201-6.00013-3>
- Cardona-Gallo, S. (2006). Reutilización y activación del coque de petróleo para remover metales en agua. *Gestión y Ambiente*, 9(1), 89–101. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/76125>
- Castro-Díaz, M., Vega, M. F., Díaz-Faes, E., Barriocanal, C., Musa, U., & Snape, C. (2019). Evaluation of demineralized lignin and lignin-phenolic resin blends to produce biocoke suitable for blast furnace operation. *Fuel*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116125>
- Cuellor, G. V., Pérez Gómez, F. H., Lesmes, L. E., Lucy, M., Branch, B., de Minas, M., & Energia, Y. (1998). *INGEOMINAS metodos para de carbon y coque*.
- Díaz Ignacio, G., & del Rosario Iturbe Arguelles, M. (2018). “*Experimentación de la adsorción de un coque proveniente de una mina de carbón.*”
- Fenalcarbón. (2022). *La industria del coque en Colombia tiene futuro – Fenalcarbón*. <https://fenalcarbon.org.co/2022/09/26/la-industria-del-coque-en-colombia-tiene-futuro/>
- Fernández, A. M., Barriocanal, C., Díez, M. A., & Alvarez, R. (2010). Importance of the textural characteristics of inert additives in the reduction of coal thermoplastic properties. *Fuel*, 89(11), 3388–3392. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.03.006>
- Florentino-Madiedo, L., Díaz-Faes, E., & Barriocanal, C. (2019). The effect of briquette composition on coking pressure generation. *Fuel*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116128>
- Florentino-Madiedo, L., Díaz-Faes, E., & Barriocanal, C. (2020). Mechanical strength of bio-coke from briquettes. *Renewable Energy*, 146, 1717–1724. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.139>
- Franco Rodriguez, J. F. (2018). *Competitividad del carbón colombiano en los mercados de Canadá, Estados Unidos y la Unión Europea*. https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/912#.Y_JneGXmF-Q.mendeley
- Gil, A. (2019). Análisis textural de sólidos porosos mediante adsorción física de gases. *Universidad Pública de Navarra*, 1–155.

- Gómez Reyes, T. (2018). Análisis de riesgos e impactos de la minería del carbón y producción de coque en zona de Cundinamarca, Colombia. *Instname:Universidad de Los Andes*. <http://hdl.handle.net/1992/39042>
- Huaman Ramos, H., Ramirez Sucño, M. M., & Surichaqui Unchupaico, R. J. (2021). Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche, Jauja - 2021. *Universidad Continental*.
https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10655#.Y_LduWgLk28.mendeley
- Kumar, D., Saxena, V. K., Tiwari, H. P., Aleti, B. T., & Tiwary, V. K. (2022). Prediction of coke AMS through data mining: a practical approach. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 42(8), 2366–2383.
<https://doi.org/10.1080/19392699.2020.1845662>
- Kural, O. Cevdet. (1994). *Coal : resources, properties, utilization, pollution*. 494.
<https://books.google.com/books/about/Coal.html?hl=es&id=OrBZAAAAYAAJ>
- Matyjaszek, M., Wodarski, K., Krzemień, A., Escanciano García-Miranda, C., & Suárez Sánchez, A. (2018). Coking coal mining investment: Boosting European Union's raw materials initiative. *Resources Policy*, 57, 88–97.
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.01.012>
- Metodología 5S – Perfimet*. (n.d.). Retrieved February 19, 2023, from
<https://www.perfimet.cl/metodologia-5s/>
- Mora Camacho, F. (2015). Beneficio de los finos de coque. *Universidad de La Sabana*.
<http://hdl.handle.net/10818/20477>
- Pavan, M., & Andrew, R. (2022, October 29). *Análisis de Área de Superficie BET de Nanopartículas - LibreTexts Español*.
[https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_Anal%C3%ADtica/M%C3%A9todos_F%C3%ADsicos_en_Qu%C3%ADmica_y_Nano_Ciencia_\(Barron\)/02%3A_An%C3%A1lisis_f%C3%ADsico_y_t%C3%A9rmico/2.03%3A_An%C3%A1lisis_de_%C3%81rea_de_Superficie_BET_de_Nanopart%C3%ADculas](https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_Anal%C3%ADtica/M%C3%A9todos_F%C3%ADsicos_en_Qu%C3%ADmica_y_Nano_Ciencia_(Barron)/02%3A_An%C3%A1lisis_f%C3%ADsico_y_t%C3%A9rmico/2.03%3A_An%C3%A1lisis_de_%C3%81rea_de_Superficie_BET_de_Nanopart%C3%ADculas)
- Pertuz Yazmin Agámez, Ajiaco Fredy, Cadena Ariel, & Díaz Velásquez José de Jesús. (2011, November). Comportamiento dilatométrico de algunos carbones colombianos, sus mezclas y relación con los índices de calidad del coque. *Conference: IX Congreso Nacional y IV Internacional de Ciencia y Tecnología Del Carbón y Combustibles Alternativos*.
https://www.researchgate.net/publication/295830407_Comportamiento_dilatometrico_de_algunos_carbones_colombianos_sus_mezclas_y_relacion_con_los_indices_de_calidad_del_coque?channel=doi&linkId=56cdc98f08ae85c8233e6c10&showFulltext=true

- Rejdak, M., Wojtaszek-Kalaitzidi, M., Gałko, G., Mertas, B., Radko, T., Baron, R., Książek, M., Yngve Larsen, S., Sajdak, M., & Kalaitzidis, S. (2022). A Study on Bio-Coke Production—The Influence of Bio-Components Addition on Coke-Making Blend Properties. *Energies*, 15(18). <https://doi.org/10.3390/en15186847>
- Rico, D., Agámez, Y., Romero, E., Centeno, M. Á., Odriozola, J. A., & Díaz, J. D. J. (2019). Colombian metallurgical coke as catalysts support of the direct coal liquefaction. *Fuel*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115748>
- Salvatierra Cerda, J. M. (2014). Desarrollo de un aglomerado asfáltico con polvo de caucho, en la ciudad de Huanta - Ayacucho. *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1042>
- Sánchez Valencia, L. M., & López Ochoa, D. R. (2016). *Obtención de briquetas a partir de finos de un carbón del Valle del Cauca*. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/16916>
- Uribe, L. M., López, M. E., & González, A. G. (2013). Activación de carbón mineral mediante proceso físico en horno tubular horizontal y atmósfera inerte. *Revista Colombiana de Materiales*, 4, 25–40. <https://doi.org/10.17533/UDEA.RCM.15080>
- Xing, X. (2020). Effects of coal interactions during cokemaking on coke properties under simulated blast furnace conditions. *Fuel Processing Technology*, 199, 106274. <https://doi.org/10.1016/J.FUPROC.2019.106274>
- Yustanti, E., Muharman, A., & Mursito, A. T. (2022). The Effect of Wood Tar and Molasses Composition on Calorific Value and Compressive Strength in Bio-coke Briquetting. *International Journal of Renewable Energy Development*, 11(3), 600–607. <https://doi.org/10.14710/ijred.2022.39298>