

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AGROPECUARIAS

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero en Procesos Agroindustriales

Título: Evaluación del sistema de hidratación de la calera de “Urbano Noris” para la producción de hidrato de cal.

Autor: Daliuska Aguilera Pupo

Tutor: Ms C. Artemio Hernández de Armas

Dedicatoria

A mi esposo Luis Ángel por impulsarme y darme su apoyo incondicional.

A mis hijos Malena y Marlon por ser mi motivación para llegar hasta aquí.

Agradecimientos

A mi esposo Luis Ángel por su apoyo incondicional ya que sin él no hubiera sido posible.

A mis hijos Malena y Marlon por su amor y cariño.

A mi tutor MsC. Artemio Hernández de Armas por guiarme durante la realización de esta investigación.

A mis profesores

A los especialistas de la Empresa de Servicios Técnicos Industriales por su apoyo en las investigaciones.

A mis compañeros de aula y amigos queridos en especial a Leonid Cordovi Alarcón por su compañerismo, estos 5 años de carrera, hemos logrado llegar hasta cumplir la meta.

A todos los que de una forma u otra contribuyeron a mi formación como profesional.

“Siempre tendrás miedo, pero siempre tendrás que seguir adelante”

Eternamente Agradecida

Muchas Gracias

Daliuska

RESUMEN

La investigación Evaluación del sistema de hidratación de la calera de “Urbano Noris” para la producción de hidrato de cal tuvo como objetivo evaluar la dosificación de mezcla cal-agua en la hidratadora de la Calera de “Urbano Noris” para el mejoramiento de la cal hidratada y su incidencia en el proceso de producción azucarera. Se le realizó un análisis a las variables que pueden influir en la calidad de la Cal. Al analizar dichas variables se pudo identificar oportunidades de mejora con el fin de lograr un aumento de la calidad de Cal, se realizaron 21 pruebas experimentales, considerando las 3 variables en sus diferentes valores, ninguna de estas variables fueron menos importantes en la etapa de hidratación; por lo tanto están correlacionadas. Se determinó que los porcentajes de CaO y los residuos se encontraban en los parámetros establecidos de la norma de calidad 65-70 % y 6-10 respectivamente, no así en los valores del porcentaje de humedad, donde se observó que el 71 % de las muestras adquirieron índices de humedad mayores al 2 %. Se observó en el proceso que la correcta dosificación de la mezcla agua –cal, se hace por apreciación de los operarios, afectando en la calidad del producto terminado y en los volúmenes de producción diario, estos resultados demostraron que la inapropiada dosificación del agua en la cal incide directamente en el incumplimiento de las normas de calidad.

ABSTRACT

The objective of the research Evaluation of the hydration system of the Urbano Noris lime kiln for the production of lime hydrate was to evaluate the dosage of lime-water mixture in the hydrator of the Urbano Noris lime kiln for the improvement of hydrated lime and its incidence. in the sugar production process. An analysis was carried out on the variables that can influence the quality of Lime. By analyzing these variables, opportunities for improvement could be identified in order to achieve an increase in the quality of Lime. 21 experimental tests were carried out, considering the 3 variables in their different values, none of these variables were less important in the stage of hydration; therefore they are correlated. It was determined that the percentages of CaO and residues were within the established parameters of the quality standard 65-70% and 6-10 respectively, not so in the percentage values of moisture, where it was observed that 71% of the samples acquired moisture indexes greater than 2%. It was observed in the process that the correct dosage of the water-lime mixture is done by the appreciation of the operators, affecting the quality of the finished product and the daily production volumes, these results showed that the inappropriate dosage of water in the lime directly affects the non-compliance with quality standards.

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Revisión Bibliográfica	4
2.1 Generalidades del Proceso de la Obtención de la Cal.	4
2.2 Características de la piedra Caliza.....	8
2.3 Clasificación de calizas según el contenido de (CaCO ₃)	10
2.4 Oxido de Cal (Cal).....	10
2.5 Tipos de cal	11
2.6 Usos y Aplicaciones de la cal viva	11
2.7 Procesamiento de la cal.....	12
2.8 Generalidades de la cal en el proceso de obtención del azúcar.....	14
3. Materiales y Métodos.....	16
4. Resultados y Discusiones.....	19
5. Conclusiones.....	25
6. Recomendaciones.....	26
7. Bibliografías	
8. Anexos	

1. INTRODUCCIÓN

La cal es el más antiguo, vivo y actual de los productos químicos de origen natural. Al parecer, la cal viva (óxido de calcio) fue descubierta casualmente cuando se realizaban fogatas sobre rocas calcáreas, las que luego se apagaban con agua, pudiendo observar que, en operaciones sucesivas, las rocas iban sufriendo cambios hasta desintegrarse (transformación a cal apagada). Luego sucedía que la roca se transformaba en una pasta, dejándose moldear y con el tiempo se secaba adquiriendo dureza, lo que permitió pegar piedras para fabricar, de este modo la cal se empleó en la edificación de obras conocidas a nivel mundial, las cuales sorprenden por su resistencia al paso del tiempo (Castillo, 2016).

Los empleos de la cal han aumentado y cambiado con el pasar del tiempo, se usó en un principio en la construcción y en la agricultura; como por ejemplo las Pirámides de Egipto y el Coliseo, hoy en día, expertos en diversas industrias han podido constatar que no existe un material sustituto de la cal que brinde tantos beneficios a costos tan bajos (ANCADE, 2015).

En la actualidad, la obtención de la cal comienza cuando se encuentra una cantera de roca caliza (CaCO_3) se extrae, se tritura, se calcina para obtener (CaO) cal viva y en algunos casos se hidrata para obtener cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Dependiendo del uso, se demandan características diferentes de la caliza para satisfacer necesidades en las diferentes esferas del quehacer humano (Tlaloc, 2013).

(Otero, 2016) plantea que la cal es uno de los productos más versátiles por su empleo en diferentes sectores, un gran porcentaje de los procesos químicos e industriales utilizan la cal como un reactivo industrial basificante, purificante de metales, absorbente, neutralizante, coagulante o acondicionante.

De igual forma el uso de la cal comprende la construcción, la siderurgia, que es su mayor consumidor, metalurgia no ferrosa, papel, fertilizantes, alimentación, vidrio, acuicultura, recubrimientos, protección ambiental tanto atmosférica como depuración de aguas, en el mercado de terrenos de béisbol y en la industria azucarera.

(Leyva, Mayo y Hylton, 2016) señalan que, en Cuba inicialmente se usaba la cal solo para la construcción, siendo ejemplos emblemáticos el acueducto de Albear y el famoso puente de cinco arcadas sobre el río Yayabo que atraviesa la ciudad Espirituana. Es una de las joyas arquitectónicas más antiguas de su tipo en Cuba se

comenzó a construir en 1817 y se terminó en 1831, se levantó a partir de ladrillos, cal y arena de la zona. Señalan que con el desarrollo de la industria azucarera la producción de cal alcanza un gran auge, constituyendo este el motivo fundamental por el cual comenzó a explotarse la calera de San Germán en el actual municipio Urbano Noris hacia principios de los años 20 del siglo pasado, en el transcurso de los años se fueron modernizando su sistema tecnológico hasta alcanzar niveles productivos superiores a 750 toneladas mensuales, en la actualidad es la encargada de abastecer las demandas de los centrales azucareros de la región oriental del país.

Estos mismos autores plantean que, en la elaboración de azúcar crudo interviene el proceso de extracción del jugo de la caña este se combina con agua aplicada en él, obteniéndose el jugo mezclado, que es el que entra al proceso de fabricación, este contiene un pH ácido entre 4,8-5,5. Con el objetivo de minimizar las pérdidas por inversión del disacárido sacarosa este jugo se alcaliza hasta valores que logren un jugo clarificado de pH cercano a la neutralidad además de lograr la cantidad de calcio necesaria para la verificación de la principal reacción que ocurre en el proceso de clarificación, el que reacciona con el fósforo contenido en él, formando compuestos orgánicos que se eliminan como impurezas, para ello se utilizan unos 1000 grs de cal hidratada de 65 % de pureza como mínimo, por toneladas de caña molida.

El óxido de calcio (CaO) es el término químico utilizado para definir la calidad de cualquier tipo de hidrato de cal. En una medida del contenido (CaO) en el hidróxido comercial, basado en la relación estequiometría con el hidrato. Las secuelas de su baja calidad puede ocasionar serios problemas al ingenio azucarero, el exceso de arena, huesos y otros materiales insolubles aceleran definitivamente el desgaste de equipos y son causantes de tupidones en las tuberías, las impurezas presentes como los óxidos de silicio (SiO_2) y de magnesio (MgO) son productoras de incrustaciones en evaporadores y además retardan la reacción de floculación, La demanda de cal física se incrementa según decrece la calidad del hidrato que consumimos y en consecuencia, mayor será el volumen de agua e impurezas que ingresan al proceso (Ermount, Alfred y Meillet, 1959-1960).

El presente trabajo se enfoca en una planta ubicada en Urbanos Noris y está dedicada a la producción de cal y sus derivados del óxido de calcio, esta UEB perteneciente a ZETI Holguín cuenta con el proceso completo de elaboración de

cal, se centra en la parte de la hidratación de la cal, específicamente en la hidratadora, la cual es controlada de forma manual por un operador en campo.

Teniendo lo anteriormente señalado, se propone como **problema:** Insuficiente dosificación de la mezcla agua - cal que incide negativamente en la calidad del producto terminado de la cal hidratada en la Calera de “Urbano Noris”.

Para lo cual se valida la siguiente **hipótesis:** Si se aplica correctamente la dosificación adecuada de la mezcla agua - cal que incide directamente en la calidad del producto terminado de la cal hidratada en la Calera de “Urbano Noris”; entonces se garantizará el cumplimiento de la norma de calidad 1142.2016 Cal hidratada y cal viva para uso en la industria azucarera.

Objetivo general: Evaluar la dosificación de mezcla cal-agua en la hidratadora de la Calera de “Urbano Noris” para el mejoramiento de la cal hidratada y su incidencia en el proceso de producción azucarera.

Objetivos específicos:

- 1- Analizar el porcentaje de humedad, residuos y de óxido de calcio (CaO) en el proceso de hidratación para el cumplimiento de la norma de calidad por este concepto en la fabricación de azúcar.
- 2- Evaluar la dosificación de mezcla cal-agua en la hidratadora de la Calera de “Urbano Noris”

2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1 GENERALIDADES Y PROCESO DE LA OBTENCIÓN DE LA CAL

La cal es uno de los materiales más utilizados y antiguos que se conocen teniéndose registros de su utilización en civilizaciones antiguas como la romana y egipcia. Típicamente lo que se conoce como “Cal” no es más que el producto que deriva de la calcinación de las piedras calizas (CaCO_3) justamente derivando de estas piedras su nombre. Realmente el término “Cal” puede hacer referencia a la cal misma (óxido cálcio) o a los diversos derivados de la cal, como la cal apagada por citar un ejemplo (Spiropoulos, 2015).

Este mismo autor refiere que como se mencionó anteriormente, la materia prima de la cal es la caliza. La piedra caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente de carbonato de calcio y magnesio. Esta roca se forma por la precipitación de componentes orgánicos (esqueletos y plantas) o por la deposición de fragmentos de otras piedras en las orillas de mares y lagos. Es por esta misma razón es que la composición de las piedras calizas es muy variada alrededor del mundo.

La caliza es una roca carbonatada cuyo valor mineralógico es extremadamente grande hoy en día. Una de las razones por la cual es tan valioso este mineral, es que constituye la principal materia prima para la elaboración de materiales de construcciones, tales como el cemento y el óxido de calcio (Cal viva). Este mineral ha sido muy empleado a lo largo de la historia, debido a que representa uno de los minerales más comunes sobre la superficie de la tierra. Se calcula que alrededor del 10% de la superficie de la tierra está compuesta por caliza o rocas de similar composición (Otero, 2016).

Además, existen diferentes tipos de clasificaciones para las rocas carbonatadas, entre las cuales se pueden mencionar: clasificación geológica, clasificación en base a composición elemental y clasificación en base a tamaño de grano en la matriz de la roca carbonatada. Este último tipo de clasificación es más de interés petrográfico.

La clasificación geológica de las rocas calizas está en función de la ocurrencia geológica y mineralógica. Es por ello que pueden clasificar como unas rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas (Harrison, 2016).

Este mismo autor plantea que la caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por Carbonato de Calcio en forma del mineral llamado calcita. La

calcita comúnmente se forma en aguas dulces y marinas. Su proceso de formación orgánico, es el resultado de la sedimentación de conchas, corales y algas marinas. De igual manera la roca sedimentaria puede ser resultado de la precipitación de carbonato de calcio de aguas de marinas o de lagos.

De igual forma hoy en día existen muchos ambientes de formación de la roca caliza. Muchos de estos ambientes están ubicados en áreas comprendidas entre 30 grados latitud norte y 30 grados latitud sur. Por lo tanto, las áreas más comunes de formación de roca caliza son el caribe, Centro América, México entre otros. La roca caliza, como se mencionó anteriormente está constituida principalmente por Carbonato de calcio (en al menos 50 % en peso), pudiendo contener porcentajes pequeños de otros minerales. Entre los minerales asociados a la roca caliza se encuentran: el cuarzo, feldespato, pirita, entre otros. Dependiendo de la cantidad de Carbonato de calcio presente en la roca caliza esta puede clasificarse de diferente manera (Harrison, 2016).

Verplanck (2017), plantea que las más común de las rocas ígneas carbonatadas es la carbonatita, que está compuesta principalmente de carbonatos de Calcio, Magnesio y Hierro. Estos generalmente se encuentran como anillos alcalinos intrusivos en áreas que poseen antiguos asentamientos o en áreas volcánicas. Según la definición de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas una carbonatita es un sistema de rocas ígneas que presentan más del 50 % de minerales carbonatados, como la calcita y dolomita y menos de un 20 % de dióxido de silicio. Además, dentro de esta clasificación se encuentran todas aquellas calizas o dolomitas que han sido producto de re cristalización vía metamorfismo. La palabra metamorfismo proviene del griego meta, que significa cambio y morph, que significa forma, lo que quiere decir que una roca metamórfica es el resultado de un cambio de forma. Este cambio referido de forma en la roca es el producto del sometimiento de dicha roca a presiones y temperaturas diferentes de su origen mismo. A la roca que sufrirá el proceso de metamorfismo se le llama protolito.

Por otro lado, Nelson (2015), considera que para que pueda ocurrir el metamorfismo se deben de tener como mínimo temperaturas superiores a los 900 °C. El proceso de “enterramiento de la roca carbonatada” toma lugar, gracias a procesos tectónicos, como las colisiones continentales. Durante el metamorfismo el protolito sufre cambios tanto superficiales como mineralógicos (estructura). Estos cambios tienen lugar

mayoritariamente en estado sólido y son causados por las diferentes condiciones físicas y químicas de su entorno.

La principal roca carbonatada metamórfica que se puede encontrar es el mármol. Cuando ocurre metamorfismo en una roca caliza, todo componente original (fósiles animales o vegetales), son completamente destruidos. Las rocas carbonatadas pueden presentar una gran diversidad de componentes químicos derivados de la presencia de una variedad bastante amplia de minerales encontrados en su estructura química. Los principales minerales empleados en la industria son la calcita y la dolomita (Stephen, 2015).

La calcita y la dolomita representan los dos tipos de rocas carbonatadas más utilizados en la industria de fabricación de materiales para la construcción en la actualidad. La roca caliza (como se mencionó con anterioridad) es una roca sedimentaria compuesta principalmente por el mineral llamado calcita. La calcita es Carbonato de Calcio (CaCO_3) con una estructura cristalina Hexagonal. Por otra parte, las dolomitas son también rocas sedimentarias compuestas por el mineral dolomita. Este mineral químicamente es Carbonato de Calcio unido a Carbonato de Magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), en una estructura cristalina Hexagonal (Freas y Hayden, 2015).

De la misma forma estos autores plantean que otro mineral importante encontrado en las rocas carbonatadas es la Aragonita la cual, químicamente también es Carbonato de Calcio (CaCO_3), pero se diferencia químicamente de la calcita, por presentar una estructura cristalina diferente (Ortorrómbica). La Aragonita es meta estable y tiene la capacidad de alternar con la calcita con el paso del tiempo.

Piedras calizas

Las calizas son rocas sedimentarias formadas por depósito de los productos de alteración química y física de rocas preexistentes y primitivas; reacciona con efervescencia en presencia de ácidos tales como el ácido clorhídrico. Debido a la extrema lentitud con la que se descomponen los fósiles que contienen carbonato de calcio y al efecto disolvente del dióxido de carbono, se forma bicarbonato de calcio. Este compuesto aparece finalmente a manera de plataformas re-carbonatadas. Capa sobre capa, estos sedimentos conforman los enormes depósitos de caliza existentes (Harrison, 2016).

Origen hídrico

Según Freas y Hayden (2015), carbonato de calcio (CaCO_3) se disuelve con mucha facilidad en aguas que contienen dióxido de carbono (CO_2) gaseoso disuelto, debido a que reacciona con este y agua para formar bicarbonato de calcio $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$, compuesto intermedio de alta solubilidad. Sin embargo, en entornos en el que el CO_2 disuelto se libera bruscamente a la atmósfera, se produce la reacción inversa aumentando la concentración de carbonato de calcio, cuyo exceso sobre el nivel de saturación precipita. De acuerdo a lo descrito, el equilibrio químico en solución sigue la siguiente ecuación:



De igual manera estos autores plantean que esa liberación de CO_2 se produce, fundamentalmente, en dos tipos de entornos: en el litoral cuando llegan a la superficie aguas cargadas de CO_2 y, sobre los continentes, cuando las aguas subterráneas alcanzan la superficie. Este es el proceso fundamental de formación de grutas y cuevas con presencia de estalactitas y estalagmitas en muchas regiones calcáreas con piedras calizas denominadas también carsos.

Origen biológico

Numerosos organismos utilizan el carbonato de calcio para construir su esqueleto mineral, debido a que se trata de un compuesto abundante y muchas veces casi a saturación en las aguas superficiales de los océanos y lagos (siendo, por ello, relativamente fácil inducir su precipitación). Tras la muerte de esos organismos, se produce en muchos entornos la acumulación de esos restos minerales en cantidades tales que llegan a constituir sedimentos que son el origen de la gran mayoría de las calizas existentes (Otero, 2016).

Composición química

De la misma forma Verplanck (2017), debido a que la piedra caliza es una roca sedimentaria, las calizas están compuestas de varios minerales diferentes. Todas las calizas se componen principalmente de carbonato de calcio, que es uno de los minerales más abundantes en el planeta. El carbonato de calcio constituye al menos el 50 % de todas las piedras calizas en forma de calcita. Algunas calizas son calcita casi puro, pero la mayoría de calizas contienen arena y otras sustancias tales como cuarzo, pirita y minerales de arcilla. La piedra caliza es el resultado del peso de las

capas de diferentes minerales de calcita y se combina con la reacción química creado por calor y presión. La caliza está formada de una serie de compuestos químicos, en el que la presencia de los carbonatos de calcio y de magnesio es más significativa. Carbonato de calcio (CaCO_3).

Impurezas

Destaca Verplanck (2017), que las impurezas en la caliza se clasifican como impurezas homogéneas y heterogéneas sílice y arcilla. Impurezas homogéneas como barro, lodo, arena y otras formas de sílice, como cuarzo, se distribuyen finamente en la caliza durante su formación. En las impurezas heterogéneas aparecen, por ejemplo, fragmentos silícicos ó nódulos de arena, sílex córneo ó pedernal, se engloban también de forma incoherente en la caliza. Dependiendo del contenido en arcilla las calizas se clasifican en ordinarias (% CaCO_3 >95 %), arcillosas (% arcilla <10 %), margosas (% arcilla 10-25 %) y margas (% arcilla 25-50 %).

Este mismo autor plantea que la impureza que aparece en tercer lugar de frecuencia está distribuida homogéneamente, una vez que la caliza ha comenzado a formar carbonato férrico como consecuencia de la sustitución química del calcio por el hierro. El hierro aparece repartido heterogéneamente en forma de sulfuro de hierro u óxido ferroso en minerales como piritita, limonita ó hematita.

2.2 Características de la piedra Caliza

Color

La piedra caliza es toda blanca o grisácea en color, pero puede variar de gris a marrón y también amarillo. Las rayas grises y negras que se encuentran en el material son manchas causadas por la materia orgánica. Las amarillas y marrones son en su mayoría causados por las impurezas de óxido de hierro presentes en la roca (Otero, 2016).

Este mismo autor plantea que la textura de la piedra caliza varía desde material grueso hasta partículas muy finas. Los fragmentos fósiles, los fragmentos de conchas viejas y otros materiales fosilizados forman una gran parte de su composición. A veces, estos fragmentos fosilizados se pueden ver fácilmente a simple vista. Otras veces, el material es tan fino y cristalizado que los restos fósiles no pueden ser identificados.

La piedra caliza es blanda y se raya con facilidad. En el exterior, el viento, la lluvia y los contaminantes atmosféricos se combinan para desgastar esta piedra, provocando su disolución durante largos períodos de tiempo. La roca reacciona fácilmente con los ácidos más comunes, tales como el vinagre o ácido clorhídrico. Cuando se aplica ácido, la piedra caliza presenta una intensa efervescencia. Los ácidos que se producen naturalmente en el ambiente atraviesan la piedra caliza a medida que el agua subterránea se abre camino a través de la roca (Otero, 2016).

Porosidad

La porosidad de las partículas de caliza varía considerablemente y depende de su grado de compactación y de su estructura. Se define como la relación existente entre el volumen de los poros V_v y el volumen total V_{tot} . El volumen de poros V_v incluye tanto los poros accesibles como los no accesibles.

Dureza

La dureza relativa puede ser estimada mediante la comprobación de su resistencia al ser rayada, esta propiedad se suele medir utilizando la escala de Mohs. Textura Granular fina a gruesa, es un poco rasposa. Tienen una textura consistente en granos minerales que se entrelazan, desarrollados durante la cristalización de sustancias que se desprenden de la solución.

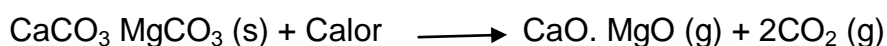
Densidad

Depende de su altura, puede variar de acuerdo a la cantidad de restos fósiles y silicatos que ésta contenga, pero generalmente son ligeras. La caliza rica en calcio tiene una densidad entre 2,65 a 2,75 kg/dm³.

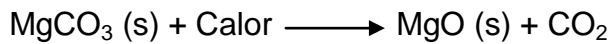
Resistencia

La resistencia de la caliza a la compresión y al aplastamiento oscila entre 98,4 y 583,5 kg/cm². De acuerdo al compuesto mineralógico, utilizado para la fabricación del óxido metálico (cal viva), esta adquiere su denominación, pudiendo ser:

Dolomita: es el carbonato doble de calcio - magnesio, el que al calcinarlo se descompone en óxido de calcio - magnesio (CaO - MgO), de acuerdo a la siguiente reacción química.



Magnesita: es el carbonato de magnesio, que al ser sometido a calcinación se disocia en óxido de magnesio, de acuerdo a lo siguiente:



2.3 Clasificación de calizas según el contenido de carbonato de calcio (CaCO₃)

La clasificación de calizas de grado químico por el contenido de CaCO₃ no toma en cuenta todas las variaciones en la composición química. Los análisis químicos deberían llevarse a cabo por un espectrofotómetro de rayos X fluorescente (XRF) a pesar de que los métodos húmedos químicos pueden ser usados cuando son apropiados. Un análisis químico típico de calizas incluirá CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O, P₂O₅, MnO y S, F, Cu, Pb y Zn. Para ciertos usos finales puede ser también necesario analizar As, Cr, Co u otros elementos. Investigaciones más detalladas pueden requerir la determinación de la composición individual de los componentes del carbonato y/o minerales asociados, usando instrumentos electrónicos como el microscopio (Otero, 2016).

2.4 Oxido de Calcio (Cal)

La cal se puede obtener normalmente por descomposición térmica de materiales como la piedra caliza, que contiene carbonato de calcio (CaCO₃), material extraído de depósitos sedimentarios llamados caliches. Se somete a temperaturas muy altas, que oscilan entre 900 y 1000 °C, en un horno. El proceso, llamado calcinación, libera una molécula de dióxido de carbono (CO₂), resultando el material llamado óxido de calcio (CaO), de color blanco y muy cáustico (quema los tejidos orgánicos) normalmente contiene también óxido de magnesio, óxido de silicio y pequeñas cantidades de óxidos de aluminio y hierro. Sin embargo, el proceso puede ser reversible, ya que, al enfriarse la cal, comienza a absorber nuevamente el CO₂ del aire, y después de un tiempo, vuelve a convertirse en CaCO₃ o carbonato de calcio (Castillo, 2016).

La cal viva de alto calcio es la que general y mayoritariamente se produce en nuestro país. Es un producto muy higroscópico. De hecho, tiende a absorber el vapor de agua presente en el ambiente si no es almacenada cuidadosamente. La cal viva puede ser combinada con agua, produciéndose una reacción violenta que desprende

mucho calor. Se forma entonces el hidróxido de calcio que se comercializa en forma de polvo blanco conocido como cal muerta o apagada (Mohamad y Chemco, 2014).

2.5 Tipos de cal

Cal Viva Se obtiene de la calcinación de la caliza que, al desprender anhídrido carbónico, se transforma en óxido de calcio. La cal viva debe ser capaz de combinarse con el agua, para transformarse de óxido a hidróxido y una vez apagada (hidratada), se aplique en la construcción (Pérez, 2016).

Cal hidratada obtenido en la calcinación de la caliza reacciona inmediatamente con el agua, transformándose en hidróxido de calcio (Ca(OH)_2). Este fenómeno se conoce como hidratación o apagado de la cal viva (CaO) (Editorial de los Oficios de León. Guía Práctica de la Cal y el estuco, 2015).

Cal hidráulica compuesta principalmente de hidróxido de calcio, sílica (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3) o mezclas sintéticas de composición similar. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso debajo del agua (Pérez, 2016).

2.6 Usos y Aplicaciones de la cal viva

La cal es un material que tiene un campo muy variado de aplicación debido a sus múltiples usos, los más importantes se dan en el ámbito de la construcción, la agricultura y otros. A continuación, se mencionan los aspectos más importantes de cada uno:

Aplicación en la construcción: Uno de los usos típicos está en la fabricación de morteros que no es más que la unión de la cal con agua y algún árido. El mortero tiene como función principal la unión de elementos pequeños, en la construcción de obras. También se puede utilizar como revestimiento en paredes, muros o morteros en donde adquiere el nombre de revoco (Otero, 2016).

Aplicación en la agricultura: La cal es utilizada en la agricultura para neutralizar la acidez del mismo y promover la adición de fertilizantes (Spiropoulos, 2015).

Otros usos variados de la cal: Existen otras aplicaciones menores para la cual dentro de las cuales se puede mencionar: fundente en la industria de refinado del acero, purificación de agua, neutralización de aguas ácidas de desecho, producción de papel, producción metalúrgica, refinerías, construcción de ladrillos (Spiropoulos, 2015).

2.7 PROCESAMIENTO DE LA CAL

El proceso de producción de cal consta de una serie de etapas que comienzan desde la extracción de las materias primas hasta el almacenaje y empaque de los diversos productos derivados de la piedra caliza. Se brindan a continuación un resumen de las principales etapas:

Elección y extracción de materias primas: Como bien es sabido la materia prima de la cal, tanto viva como hidratada es la piedra caliza. Esta piedra es tomada de canteras seleccionadas con alto contenido de este mineral. Para la extracción de la piedra se pueden emplear explosivos o máquinas excavadoras. Los explosivos son empleados en terrenos de difícil acceso mecánico, colocándose estos en agujeros lo suficientemente espaciados y a una profundidad entre 2 a 6 metros de profundidad. En ocasiones se pueden extraer las materias primas únicamente con maquinaria, esto dependiendo de la dureza de la roca (Brunt & Lawry, 2015).

Trituración

Consiste en el proceso para la disminución del tamaño de partícula. Este proceso es muy variado y está en función del tipo de horno de calcinación, la temperatura y el tiempo que la planta emplee. En algunos casos se tritura hasta partículas entre 0.5 mm a 2 mm de diámetro. Para otros tipos de hornos como el TSR (Horno doble regenerativo, por sus siglas en inglés) se utilizan calizas entre 2,5 a 10 cm de diámetro. Esto se debe a que estas rocas contienen espacios de aire, con lo cual se permite que el aire caliente del horno fluya de mejor manera (Spiropoulos, 2015).

Calcinación

Este mismo autor plantea que, el calor que se suministra a la caliza para su transformación produce un primer efecto que consiste en la evaporación del agua de cantera. Posteriormente sigue aumentando la temperatura hasta conseguir la descomposición de la caliza. Se pensaba que el calor empleado para evaporar el agua de cantera era calor perdido, pero Gay Lussac demostró que la presencia de agua y del vapor por ella producido facilita el proceso de disociación.

Además, señala que, la cal se produce por calcinación de las rocas calizas mediante flujos de aire caliente que circula en los huecos o poros de los fragmentos rocosos; las rocas pierden dióxido de carbono, teniendo como resultado un producto principal: Óxido de Calcio (CaO), producto de la transformación del Carbonato de

Calcio (CaCO_3) conocidos también como Cal Viva. Debido al tamaño y forma homogénea de los fragmentos, la cocción ocurre de la periferia hasta el centro quedando perfectamente calcinada la roca. En la calcinación con el uso de un horno se aprovecha la propiedad más importante de la materia prima, que es la descomposición térmica. Todas las rocas se descomponen a elevadas temperaturas formando óxidos y liberando gas CO_2 .

Para el caso de la caliza o carbonato de calcio: $\text{CaCO}_3 + \text{calor} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

De igual forma plantea que el carbonato de calcio es sometido dentro del horno a temperaturas mayores a 900°C dependiendo de la presión, tamaño de la roca e impurezas, liberando dióxido de carbono, dejando una roca en su mayoría compuesta por óxido de calcio. Hay tres factores esenciales en la cinética de la descomposición de la caliza.

1. La roca debe ser calentada a la temperatura de disociación de los carbonatos.
2. Esta temperatura mínima (pero prácticamente una temperatura mayor) debe ser mantenida por cierta duración.
3. El gas del dióxido de carbono que se desarrolla debe ser removido.

Existen numerosas variables que requieren métodos de prueba y error para una actuación óptima y modificaciones empíricas delicadas (menudo impulsivo) para operar eficientemente. Como evidencia de esto ingenieros de alta especialidad con importantes grados técnicos y con una extensa experiencia en otros procesos piroquímicos algunas veces encuentran complejas dificultades operativas en la calcinación de la cal (Curi, 2018).

Posteriormente se somete a un proceso de enfriamiento para que la cal pueda ser manejada y los gases calientes regresen al horno como aire secundario, el proceso siguiente es la inspección cuidadosa de muestras para evitar núcleos o piezas de roca sin calcinar. Se somete a cribado, separando a la cal viva en trozo y segmentos de la porción que pasará por un proceso de trituración y pulverización (Otero, 2016).

Hidratación

Este paso del proceso se lleva a cabo si el objetivo es producir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o cal apagada. Para lograr esto, la cal viva es expuesta al agua a través de un hidratador que genera un material particulado fino. Luego las partículas son clasificadas mediante separadores de aire, la cal hidratada se somete a una molienda fina

para obtener un material homogéneo. Se clasifica el producto y se lo envía al proceso de envase (Brunt y Lawry, 2015).

Cribado y almacenaje

Esta es la última y está en función del tipo de cal a despachar. Si se trata de una cal viva esta no se puede almacenar por mucho tiempo (ya que se hidrata por ser altamente higroscópica) por lo cual, es rápidamente envasada en recipientes impermeables y herméticos. En el caso de la cal apagada, esta se puede suministrar en polvo o en pasta, teniendo el cuidado de evitar su carbonatación, por lo cual se almacena en recipientes secos y libres a aire (Espiropoulos, 2015).

2.8 Generalidades de la cal en el proceso de obtención del azúcar

La cal juega un papel principal en la producción de azúcar y es indispensable para su obtención, ya que adiciona al proceso en forma de lechada para mezclarla con el jugo de caña y nivelar el pH del mismo hasta la neutralidad, evitando así la inversión de la sacarosa en un medio ácido. Hasta la fecha, la ciencia y la tecnología no han podido encontrar un sustituto para la cal en esta industria pues además de nivelar el pH, clarifica el jugo, eliminando del mismo todas las impurezas orgánicas e inorgánicas en el proceso de refinación de la sacarosa, mismos que estorbarían en las etapas de producción posteriores (NC 1142:2016).

De igual manera la norma plantea que adicionalmente, el calor y la cal incrementan el color debido a que descomponen los azúcares reductores. Para hacer un uso eficiente de la cal, es necesario prestar atención a su forma de adición al proceso, la lechada. La lechada de cal puede elaborarse con diferentes porcentajes de cal, adaptándose a las necesidades de los procesos en los que participe. En el caso de su uso en la clarificación del azúcar, sus condiciones influyen de forma importante en las propiedades por lo que sus parámetros de producción deben ser controlados, con el objetivo de obtener los mejores resultados en el proceso.

La cal tiene un comportamiento particular en base a su solubilidad, ya que, a diferencia de otros reactivos químicos, es escasamente soluble a 0°C y su solubilidad disminuye a medida que aumenta la temperatura de la suspensión, motivo por el cual se considera insoluble a 100°C; en éste sentido para que éste efecto no sea un inconveniente en la optimización de la elaboración de la lechada, se considera una temperatura idónea su elaboración entre 25 y 40 °C. Por su naturaleza y baja

solubilidad en agua, es necesario que se considere un tiempo de retención para lograr la mayor hidrólisis posible (Zamora, 2013).

Es indispensable además contar con una excelente calidad de cal, en donde parámetros como el residuo insoluble hacen una diferencia, el codex alimentarius recomienda algunas características para la cal que se usa como aditivo químico alimentario, tanto en el tema de calidad como de inocuidad, en éste sentido, la especificación recomienda no sobrepasar de 1 % en éste tema, y es que el exceso de arena y otros insolubles en la cal, pueden acelerar el desgaste de los equipos y pueden ser los causantes de incrustaciones en las tuberías del proceso, sin contar además las adiciones de éste tipo de contaminantes, al utilizar para la elaboración de la lechada, agua cruda, con presencia elevada de iones sulfato (Leyva, Mayo y Hylton, 2016).

Zamora (2013) plantea que la demanda de cal física se incrementa según decrece su reactividad, como consecuencia también se incrementa su transporte y se producen otros efectos colaterales; la cal es el reactivo químico que más peso tiene en la producción de azúcar y su consumo oscila aproximadamente entre 0,65 y 2 kg de óxido de calcio aprovechable por tonelada de caña molida, es por ello que todos los esfuerzos que se puedan realizar en beneficio de mejorar éste indicador, son ampliamente valorizados en el proceso.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el periodo de noviembre-abril en la Planta de Cal de Urbano Noris perteneciente a la Empresa de Servicios Técnicos Industriales, Sucursal Holguín” del municipio San German, provincia Holguín.

El yacimiento se encuentra ubicado a las inmediaciones del caserío Marimón, aproximadamente a 5 km del poblado de San Germán cabecera del municipio Urbano Noris, provincia de Holguín, muy cerca del yacimiento se encuentra la carretera que une a la cabecera municipal con Jaguaní.

Urbano Noris: Municipio de la provincia de Holguín, situado hacia el Sur de esta, en los 20° 36' lat. Norte y los 76° 14' Long. Oeste Limita al Norte, los municipios de Cacocum y Báguano; al Este, la provincia de Santiago de Cuba; al Sur, las provincias de Santiago de Cuba y Granma; al Oeste, el municipio de Cacocum y las provincias de Granma (Diccionario Geográfico de Cuba).

La vía de comunicación en sentido general es buena, existe una carretera pavimentada que une a la ciudad de Holguín (capital provincial) con el poblado de San Germán de donde nace un terraplén que llega a la zona de los trabajos. La región forma parte del sinclinorio, Cauto Nipe, caracterizado por elevaciones que alcanzan máximas de 130 m sobre el nivel del mar.

La red hidrográfica se presenta extremadamente pobre detectándose solamente un arroyo intermitente en dirección Norte-Sur, que en tiempos de seca carece de agua. El clima de la región es subtropical con alternancia de períodos secos y lluviosos ocurriendo el primero entre los meses de noviembre-abril y el segundo de mayo-octubre, el periodo anual de las precipitaciones alcanza (1200-1400mm) con una temperatura media anual de 26 °C, máxima en Julio de 28 °C y máxima en enero de 24 °C.

La flora está caracterizada fundamentalmente por la caña de azúcar, no obstante, se revelan algunas áreas con pequeños bosques y matorrales de llanura.

Económicamente la región se basa en el desarrollo de la industria azucarera jugando un segundo rol la ganadería. En correspondencia con el desarrollo de la industria azucarera principal renglón exportable del país, el principal establecimiento industrial de la región lo constituye La Empresa Agroindustrial Azucarera (EAA) Urbano Noris.

La fuente de agua potable la constituye una conductora desde el poblado cabecera hasta las instalaciones del yacimiento. La región está conectada a la red nacional de suministro de energía eléctrica. La industria minera está representada por el yacimiento en cuestión

y el de calizas para la producción de carbonato de calcio ubicado a unos 6 km del objeto de interés.

Este yacimiento, perteneciente a la Empresa de Servicios Técnicos Industriales (ZETI) representada por la Unidad Empresarial de Base UEB ZETI Holguín, arroja una reserva conocida de 621,8 miles de metros cúbicos, de las que están aprobadas para explotarse 283,2 miles de metros cúbicos, lo que daría una cobertura de explotación para 40 años a los niveles actuales de extracción, pudiendo utilizarse en la producción de áridos finos y cal.

La vía de comunicación en sentido general es buena, existe una carretera pavimentada que une a la ciudad de Holguín (capital provincial) con el poblado de San Germán de donde nace un terraplén que llega a la zona de los trabajos.

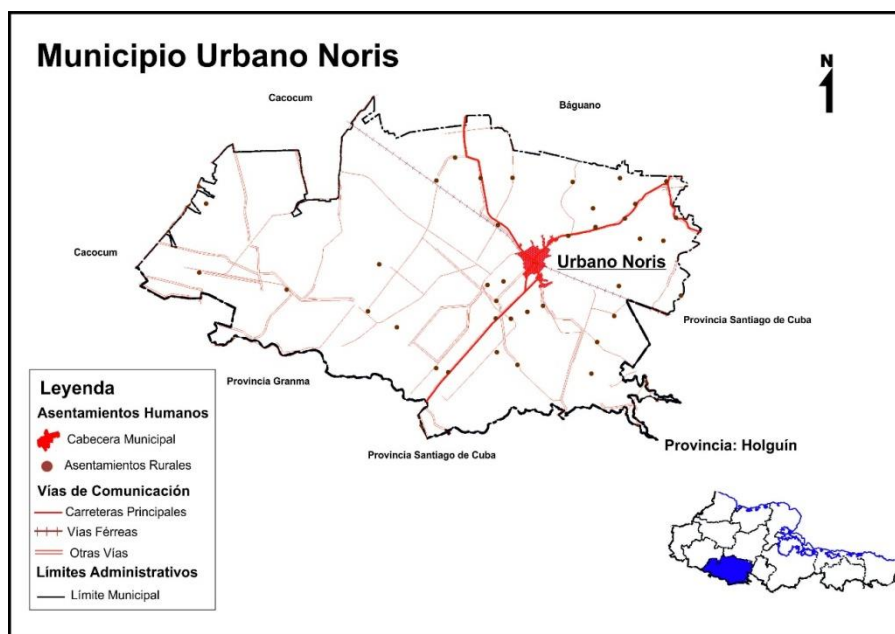


Figura 1. Ubicación geográfica y Características económicas de la región

Se utilizó la metodología aplicada por La Empresa de Servicios Técnicos Industriales, Procedimiento PRO 03 V2 Proceso de Producción de Obtención de cal, el cual describe los aspectos fundamentales que garantizan la calidad en el proceso de producción del Hidrato de Cal y la Cal Viva en las Plantas de Cal.

Se realizó análisis del muestreo a resultados obtenidos en el laboratorio según las normas cubanas **(NC)** para la obtención de los porcentajes establecidos según las normas de calidad.

- **NC 54-06** Método de ensayo para la determinación de la humedad en las cales hidratadas y las calizas.

Materiales

Balanza analítica con precisión de 0,1 mg

Estufa capaz de mantener 110 °C

Pesa filtro de cristal con capacidad de 20 g

Desecadora de cristal

Métodos

Se toman 5g de muestra preparada y se depositan en el pesa filtro previamente tarado

Se lleva a la estufa y se seca durante 3h a temperaturas de 105 °C.

Pasado este tiempo se extrae de la estufa y se enfría en la secadora.

Posteriormente se determina la masa y se lleva de nuevo a la estufa por intervalo de 15 min hasta la obtención de una masa constante.

Se determinó el % de humedad por diferencia de masa.

- **NC 54-279** Método y análisis para la determinación volumétrica del porcentaje aprovechable de óxido de calcio.

Materiales

Frasco cónico de 250 ml

Bureta de 100 ml

Reactivos

Solución neutra de sacarosa

Solución de fenolftaleína

Solución de ácido clorítico 0,128 mol/l (0,178 N)

Método

La porción de ensayo se hace reaccionar con una solución neutra de sacarosa dando lugar a la formación de sacarato de calcio, valorando esta con solución de ácido clorhídrico.

- **NC 54-324** Cales y Calizas determinación de residuos

Materiales

Balanza técnica con valor de división de 0,1g

Tamis de malla con abertura cuadrada de 75u (No.200)

Tamis de malla con abertura cuadrada de 600u (No.30)

Estufa eléctrica con control automático de temperatura

Métodos

Consiste en la separación de los materiales insolubles mediante el lavado con agua utilizando tamices y su posterior secado a masa constante.

Se comprobó las especificaciones químicas requeridas mediante la NC 1142 Cal hidratada y cal viva para el uso en la industria azucarera, mediante la selección de muestra de los resultados obtenidos del laboratorio, en el porcentaje de humedad, residuos y el porcentaje de óxido de calcio (CaO).

Tabla 1. Especificaciones químicas según la NC 1142

Índices de calidad	% m/m	Método de ensayo
Oxido aprovechable	65,00 – 70,00	NC 54-279
Humedad permisible	Máximo 2,00	NC 54- 06
Residuos Totales	6-10	NC 54-324

Fuente: NC 1142 Cal hidratada y cal viva para el uso en la industria azucarera

A los especialistas de la Empresa ZETI (3) y operario de la hidratadora (1) se les realizó una entrevista con el objetivo de conocer a profundidad el funcionamiento de la hidratadora y se tuvieron en cuenta sus criterios sobre la necesidad de introducir un sistema automático para la dosificación de la mezcla agua – cal.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Análisis del porcentaje de humedad, residuos y el porcentaje de óxido de calcio (CaO) en el proceso de hidratación para el cumplimiento de la norma de calidad por este concepto en la fabricación de azúcar.

Tabla No.2: Obtención del porcentaje de humedad, residuos y el porcentaje del óxido de calcio (CaO)

No. De muestra	FECHA	CAL	TORNOS	% CAO	% RESIDUO	% HUMEDAD
1	10/11/2021	X	1	64,62	8	3,51
2	11/11/2021	X	2	66,71	6	2,80
3	12/11/2021	x	2	68,95	9	3,15
4	05/12/2021	x	2	62,16	7	2,15
5	06/12/2021	x	1	65,50	6	3,45
6	07/12/2021	x	2	66,62	5	1,85
7	23/01/2022	x	1	67,14	7	3,42
8	24/01/2022	x	1	66,12	6	2,11
9	25/01/2022	x	1	66,50	6	2,00
10	04/02/2022	X	2	65,46	7	1,85
11	05/02/2022	X	2	64,76	7	2,45
12	06/02/2022	x	1	65,45	7	3,11
13	11/03/2022	X	1	67,95	9	3,15
14	12/03/2022	X	2	68,16	7	2,15
15	13/03/2022	x	2	65,50	6	3,45
16	07/04/2022	x	1	66,12	6	2,11
17	08/04/2022	X	1	66,50	6	2,00
18	09/04/2022	X	2	65,46	7	1,85

19	05/12/2021	x	1	65,46	7	1,85
20	06/12/2021	x	2	64,76	7	2,45
21	07/12/2021	x	1	65,45	7	3,11

Fuente: Resultados obtenidos en el laboratorio asentados en el registro RG 03.05- 2. Reporte de Análisis de Laboratorio

Se evaluaron los resultados de las muestras tomadas en el laboratorio reflejados en la tabla No.1, donde podemos determinar que se cumple con el porcentaje de CaO y de los residuos, según los parámetros reflejados en la NC 1142 Cal hidratada y cal viva para el uso en la industria azucarera y establece que, debe cumplir el Óxido de calcio aprovechable como mínimo entre el 65 – 70 % y en los residuos totales 6 – 10 %.

No así en el porcentaje de humedad ya que los niveles reflejan una variación no cumpliendo con los parámetros de calidad de dicha norma que establece un máximo permisible del 2 %.

Dicha norma plantea que la cal es el reactivo químico que más peso tiene en la producción de azúcar y su consumo oscila aproximadamente entre 0,65 y 2 kg de óxido de calcio aprovechable por tonelada de caña molida, es por ello que todos los esfuerzos que se puedan realizar en beneficio de mejorar éste indicador, son ampliamente valorizados en el proceso.

En la tabla No.3 se muestran los resultados de los períodos de análisis al porcentaje de humedad a la cal hidratada. De forma general los valores experimentales aumentaron y disminuyeron en los periodos analizados. Esto evidencia problemas en la calidad y eficiencia por este indicador a causa de la dosificación de la mezcla agua – cal.

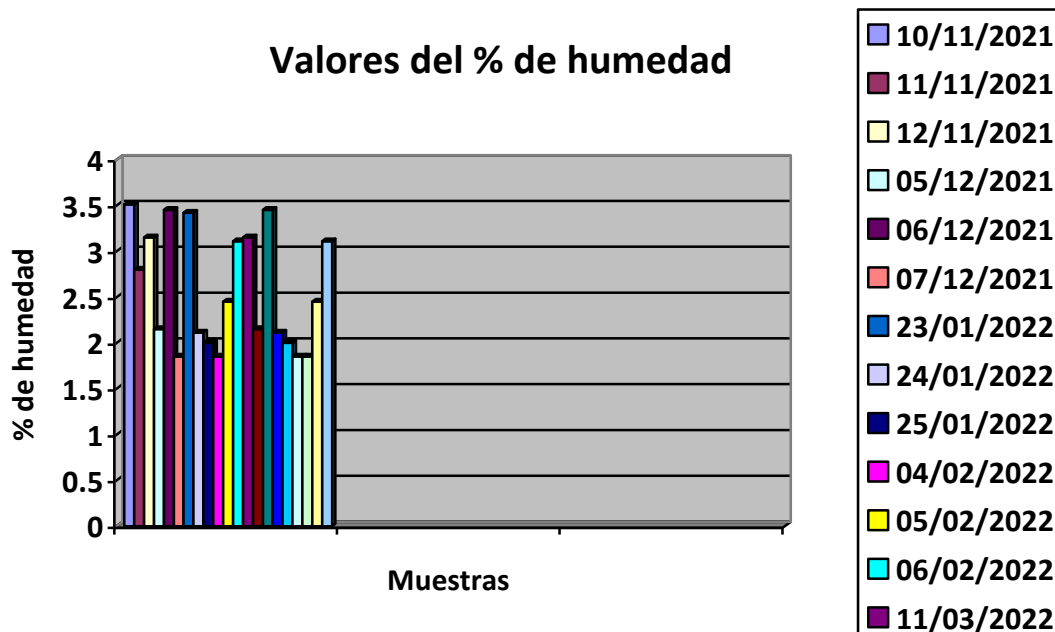


Tabla No.3: Resultados obtenidos en el laboratorio de la muestra analizada para determinar el por ciento de humedad según la NC 54-06 y asentados en el registro **RG 03.05-2** Reporte de Análisis de Laboratorio.

Se observa que el 71 % de las muestras analizadas se encuentran por encima de la norma esto ocasiona múltiples dificultades ya que se evidencia un exceso de agua en el proceso de hidratación.

Leyva, Mayo y Hylton (2016), indican que esto provoca que al absorber un exceso de agua y no evaporarse totalmente, se obtiene a la salida del hidratador, índices de humedad mayores al 2%, lo que provoca que la cal se pegue a las paredes del silo y los conductos de envase, provocando interrupciones operativas.

De igual manera solo el 19% de las muestras se encuentran por debajo del parámetro de calidad según la NC 1142, esto se debe a que el agua es insuficiente provocando el retardo en el proceso de hidratación coincidiendo con el informe de Leyva, Mayo y Hylton (2016) donde refieren que cuando el agua es insuficiente, provoca el retardo en el proceso de hidratación; no se produce el fraccionamiento adecuado de la cal, esta continúa absorbiendo la humedad atmosférica, disminuyendo su calidad, por igual motivo la temperatura sigue aumentando y debe mantenerse mayor tiempo de reposo hasta que termine la hidratación, de envasarse como no está completamente hidratada, terminara su proceso dentro del saco y por aumento del volumen lo rompe ocasionando dificultades en el área de almacenaje y posibles quemaduras a los operarios.

4.2 Evaluar la dosificación de mezcla cal-agua en la hidratadora de la Calera de “Urbano Noris”.

Se observó en el proceso de hidratación de la calera que la dosificación de la mezcla agua-cal, se hace por la apreciación de los operarios teniendo en cuenta su experiencia ya que no existe un sistema automatizado y esto repercute en la calidad del producto terminado y en los volúmenes de producción diario. Se espera que con un sistema automático de control eliminemos los posibles errores de operación por lo que tendremos una correcta dosificación de la mezcla agua- cal. Según PRO 03 V2 Proceso de Producción de Obtención de cal debe controlarse que en cada turno que le corresponda, realizar esta operación de medir la correcta cantidad de agua, que se realiza mediante dosificación y con los resultados de los análisis del Laboratorio.

Se comprobó mediante entrevistas con especialistas que no existe en el PRO 03 V2 Proceso de Producción de Obtención de cal en específico los valores numéricos para la dosificación.

Castillo (2016), en estudios realizados plantea que la relación ideal para la dosificación de la mezcla es de 600 Lt/Ton de óxido.

En el caso de la hidratadora no se regula la cantidad de óxido alimentado ya que el proceso es continuo y el suministro de agua mediante la bomba es empírica por los operarios influyendo esto en la calidad del producto terminado.

Se pudo comprobar y en entrevista con operario que el tiempo de residencia en el proceso de hidratación se encuentra sobre los 10-12 minutos, este depende del tiempo de reacción del material.

Según Castillo (2016) el tiempo de residencia oscila entre los 7 y 12 min dependiendo de la reactividad del material, determinando su importancia ya que este es el tiempo que tarda el material en pasar por la hidratadora desde que entra hasta que es desalojado.

También quedo demostrado que no se conoce la temperatura que alcanza el proceso de hidratación siendo esta una reacción exotérmica.

En los estudios realizados por Castillo (2016), esta es importante ya que, con la temperatura se sabe si el óxido se está hidratando correctamente, siendo esta una variable dependiente y está en función de la reacción química, variando de forma permanente, por lo que hay que tener control de la temperatura en el proceso, pues cuando se encuentra estática durante un lapso prolongado de tiempo, es también muy posible que se tenga un aumento de humedad dentro de la hidratadora.

Estos resultados demuestran que la inapropiada dosificación del agua en la cal incide directamente en el cumplimiento de la norma de calidad NC 54-06 provocando valores de humedad en la cal por encima y por debajo de lo establecido por esta, lo que trae como conclusión el incumplimiento de este y con las consecuencias negativas que esto provoca por el producto final.

Se considera que es evidente y coincidiendo con lo expuesto en entrevista con especialista se refleja la necesidad de automatizar el proceso de la hidratación.

Morales y Mestre (2016) refiere que el proyecto de Automatización tiene como objetivo diseñar el sistema de control automático (control, mando y supervisión), e instrumentar la etapa de hidratación, con un lazo de control de la temperatura en el tambor hidratador , en esta la variable de medida serían los vapores de salida y la variable manipulada, la válvula de regulación de agua al pre hidratador, el valor deseado estará en función de la necesidad de la hidratadora, al inicio en régimen continuo de trabajo o finalizando por la cantidad de cal, en función de la velocidad de la hidratación.

Castillo (2016) plantea que, para medir el caudal de agua utilizada en la hidratación, la variable de medida sería el flujo de agua al pre-hidratador, la manipulada la válvula de agua al pre-hidratador, el valor deseado va limitar el flujo en cuanto a los valores mínimos y máximo permisible de la cantidad de agua que se va añadir. En el caso de la hidratadora esta medición de flujo de agua se realizará mediante un Caudalímetro magnético-inductivo KROHNE, alta eficiencia.

Tlaloc (2013) plantea, además, que una vez concluida la etapa de montaje se procede a utilizar el método de prueba y error para la puesta en marcha de los lazos de control y el adiestramiento del personal que va a operar el automatismo.

Este método nos va a permitir establecer los parámetros para operar en la hidratadora con la automatización planteada, con ayuda de los operarios más experimentados y resultados de los análisis realizados en el laboratorio se estará en condiciones de crear un historial que nos permita con la automatización acercarnos a los parámetros de eficiencia con los que debe trabajar la hidratadora ya que aumenta los estándares de calidad, contribuye a la durabilidad de los equipos, motores, sinfín y reduce la dependencia del operador humanizando sus condiciones de trabajo.

4. CONCLUSIONES

1. Basado en los resultados del laboratorio y problemas de operaciones y almacenamiento no existe una correcta dosificación de la mezcla agua-cal, ya que se hace por la apreciación de los operarios teniendo en cuenta su experiencia, esto repercute en la calidad del producto terminado y en los volúmenes de producción diario.
2. Cabe esperar que la introducción de un sistema automatizado de control en la mezcla agua – cal, lograra y redundara correctamente en la dosificación de la mezcla y en consecuencia la calidad del hidrato de cal por este concepto para la producción azucarera.

5. RECOMENDACIONES

La culminación de la automatización en el proceso de hidratación en los lazos de temperatura y caudal de agua así como los instrumentos de medición fundamentales para desarrollar este trabajo.

El completamiento de los recursos necesarios e indispensables para poder aplicar la instrumentación que pueda favorecer la operación manual en la hidratación dígase mediciones de temperatura y flujo de agua.

El incremento de la capacitación de manera especializada a directivos y operarios para que puedan absorber y realizar una correcta explotación de los medios que estarán operando en función de mejorar sus condiciones laborales y productivas.

Bibliografía

Leyva, M; Pacho, A y Hylton, D. (2016) Documento de Trabajo con la Información Básica para la Operación de la Calera de Urbano Noris.

Castillo, F. (2016) propuesta de implementación de mejoras en el método de verificación en una planta de hidróxido de calcio. Tesis para ingeniero Químico.

Tlaloc, S. (2013) Propuesta de mejoras en el sistema de control para una hidratadora. Tesis para ingeniero Mecánico.

Fombella A. (2020) El empleo de los refractarios en los hornos de fabricar cal. Conferencia pronunciada en la X Reunión Técnica de la sección de refractarios de la S.E.C.V. Sevilla.

Montaluisa, A.; Edison, R.; Chávez, T y Henry G. (2014) Diseño de un horno para la producción de cal viva y de cal hidratada de 120Tn de producción diaria. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito.

Morales, H y Mestre, O. (2016) Automatización Calera Urbano Noris. Memoria Descriptiva

Harrison, D. (2015). Industrial Mineral Laboratory Manual. Mineralogy and Petrology Series, United Kingdom.

Nelson, S. (2015). Metamorphism and Metamorphic Rocks, New Orleans, USA: Tulane University. Recuperado de <http://www.tulane.edu/sanelson/eens1110/metamorphic.pdf>
Consultado: mayo de 2022.

Otero, A. (2016). La cal. España: Escuela Superior de Ávila. Disponible en la dirección: <http://ocw.usal.es/enseanzas-tecnicas/ciencia-y-tecnologia-de-los-materiales/>
Consultado: septiembre de 2022.

Alfaro, L. (2015). La Caliza (pp. 4). Disponible en la dirección: repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/4481/1/TESINA%20149.pdf. Consultado: octubre de 2022.

Pérez, A. (2016) Tipos de cal. Disponible en la dirección: www.fical.org/index.php?...id...termodinamica-y-cinetica-del-proceso... Consultado: septiembre de 2022.

Álvarez, C. (2014). La Cal ¡Es un Reactivo! (pp. 38-42). , 1 ed., Chile. Disponible en la dirección:

www.cbb.cl/cementos/PutDocument.aspx?File...La%20Cal%20jEs%20Un%20Re.pdf.

Consultado: septiembre de 2022.

Cengel, A., Termodinámica (pp. 733-751), Tomo II., 2a ed., México D.F.- México., Mc. Graw Hill., 2013. Diseño de una planta para la producción de cal (18 feb. 2014).

Disponibile en la dirección: [es.slideshare.net/groverporta/diseo-de-una-planta-para-la-producción-de-cal](https://es.slideshare.net/groverporta/diseo-de-una-planta-para-la-produccion-de-cal) Consultado: octubre de 2022.

Dirección asociación nacional de fabricantes de cales y derivados de España Disponible en la dirección:

www.ancade.com/files/documentacion/documentos/aplicacionesancade.pdf Consultado: septiembre de 2022.

Grupo Calidra química natural. "Manual de competencias de calcinación" (pp. 3; 5- 7; 31-35; 37 - 40). México.

Hernández, V.; Arenas, A. ; Cárcamo, H. ; Conejeros, V y Coloma, G. (2015). "La Cal en la Metalurgia Extractiva" (pp. 3, 10-16), 1º edición. Chile, Antofagasta: Universidad Católica del Norte.

11. Industria y Construcción ¿qué es la cal? (Sin año). Disponible en la dirección: www.misrespuestas.com > Industria y Construcción 12. Consultado: septiembre de 2022.

Korpella R. (Sin año). Qué características tiene la piedra caliza. Disponible en la dirección: www.ehowenespanol.com > Hobbies 13. Luna Córdova, J. Consultado: octubre de 2022.

Minería Metálica y no Metálica en el Perú (pp. 45). Disponible en la dirección: www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLI... Consultado: agosto de 2022.

Lerch, A. (02 de Julio 2019). Información general y funcionamiento, AK632 – Calidra de oriente (pp. 40-46). Acajete, Puebla, México.

Mohamad, H. y Chemco Systems, L. P. Publicación. Factores que Afectan La Calidad de La Cal Viva (CaO) desde el Mineral hasta el Procesamiento Para su Uso. Disponible en la dirección: Consultado: septiembre de 2022.

Stulz, S y Mukerji, G. (2015). Materiales de construcción apropiados. Alemania. Disponible en la dirección:

ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms08.htm Consultado: agosto de 2022.

Ruiz Hinojosa, M. (2014). Metalurgia Extractiva. Disponible en la dirección: https://www.researchgate.net/profile/Maria_Ruiz.../5630c5e208ae8eb6f2739195.

Consultado: octubre de 2022.

Textos científicos (2015). Cales, Compuestos de Calcio. Disponible en la dirección: www.textoscientificos.com/quimica/cales 20. Consultado: septiembre de 2022.

Universidad de Castilla - La Mancha (España). Departamento de Química Analítica y Tecnología de Alimentos. Química Analítica Aplicada, Materiales calizos y silíceos. Disponible en la dirección: <https://www.uclm.es/profesorado/jmlemus/T-09> .ppt Consultado: septiembre de 2022.

ASTM C110, 2016. Standard Test Methods for Physical Testing of Quicklime, Hydrated Lime and Limestone. ASTM Internacional. Pennsylvania USA.

AustStab, A. (2017). Lime stabilization practice. AustStab Technical Note, 8. Disponible en la dirección: <http://www.auststab.com.au/wordy/wp-content/uploads/2017/02/Lime-Stabilisation-Practice.pdf> Consultado: septiembre de 2022.

Brunt, P y Lawry, W. (2015). The Lime Industry. Chemical and Soils. Disponible en la dirección <https://nzic.org.nz/ChemProcesses/soils/2B.pdf> 4. Consultado: octubre de 2022.

Cifuentes, M., (2015) Determinación del grado de deshidratación del Yeso en la producción de cemento por medio de análisis termogravimétrico. (Tesis de Química Pura) Universidad de San Carlos de Guatemala.

CIMPROGETTI. (2013). Raw materials characterization for industrial lime manufacturing. vdz, 9. Disponible en la dirección https://www.researchgate.net/publication/259081147_Raw_materials_characterization_for_industrial_lime_manufacturing Consultado: septiembre de 2022.

De Sousa F., (2013). Thermogravimetric analysis of limestones with different contents of MgO and microstructural characterization in oxy-combustion. Departamento de Materiales, Universidad Federal de Rio Grande, Brasil. Disponible en la dirección: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040603113001251> Consultado: octubre de 2022.

Ellison P. (2018). Hydraulic lime Mortars. Penn Libraries, University of Pennsylvania Disponible en la dirección:

<http://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1489&context=hp> Consultado: mayo de 2022.

Fraley, C. & Raftery, E. (2018). How many clusters?. Which clustering method?. Answers via model-based cluster analysis. The computer Journal.

Freas R., & Hayden J., (2015). Limestone and Dolomit. USA: Industrial Minerals and Rocks.

Harrison, D. (2016). Industrial Mineral Laboratory Manual. Mineralogy and petrology Series, United Kingdom. Disponible en la dirección: https://www.bgs.ac.uk/research/international/dfid-kar/wg92029_col.pdf Consultado: septiembre de 2022.

Hassibi, M. (2015). Factors affecting the quality of quicklime (CaO) Chemco Systems L.P. Disponible en la dirección: <http://www.chemcosystems.net/Files/Admin/Publications/Factors%20Affectin%20the%20Quality%20of%20Quicklime.pdf> Consultado: septiembre de 2022.

Ibañez, J. (2017). Quantitative Rietveld Analysis for the crystalline and amorphous phases in cola fly ashes. Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera. Barcelona, España. Disponible en la dirección: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/94439/4/Iba%C3%B1ez%202013%20Fuel%20105%20314versio%20postprint.pdf> Consultado: mayo de 2022.

Marinoni, N; Allevi, S; Marchi, M & Dapiaggi, M. (2018). A kinetic study of thermal decomposition of limestone using in situ high temperature X-ray powder diffraction. Journal of the American Ceramic Society.

Toledo, M. (2015). Termogravimetric Analysis for exacting requeriments. Suiza: Mettler Toledo. Disponible en la dirección: http://www.mt.com/dam/Analytical/ThermalAnalysi/TA-PDF/51724550C_V0_9.13_TA_Komp_Bro_e.pdf. Consultado: agosto de 2022.

Navarro, C., Agudo, E., Luque, A., Navarro, A., & Ortega, M. (2019). Thermal decomposition of calcite: mechanisms of formation and textural evolution of CaO nanocrystals. 16 pdf.

Pérez, J. (2013) Difracción de rayos X, España: Departamento de Ingeniería Minera, Geológica y Cartográfica. Universidad Politécnica de Cartagena. Disponible en la dirección: http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/archivos_12/Cristalografia-en-Espana.pdf Consultado: julio de 2022.

Ramaswamy, S & Raghavan, P. (2018). Significance of impurity mineral identification in the evaluation in the value addition of kaolin - a case study with reference to an acidic kaolin from india.

Shakhashiri, A (2018). Lime: Calcium Oxide. Disponible en la dirección: www.scifun.org. Consultado: agosto de 2022.

Spiropoulos, J. (2015). Small Scale Producción of Lime for Building. Deutsche: GTZ. Disponible en la dirección: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.198.9073&rep=rep>. Consultado: septiembre de 2022.

Puleiman, I & Abubakar, A. (2020). Effects of Particle Size Distribution on the Burn Ability of Limestone. Zaria, Nigeria: Department of Chemical Engineering. Disponible en la dirección: <http://infohouse.p2ric.org/ref/29/28522.pdf>. Consultado: julio de 2022.

Tsunekawa, M & Honma, Y. (2019). Removal of Trace Impurity from limestone using flotation techniques. Japan: The Mining and Materials Processing Institute. Disponible en la dirección: <https://www.jim.or.jp/journal/e/pdf3/50/01/171.pdf>. Consultado: septiembre de 2022.

Vargas, J. (2016). Evaluación comparativa de la quemabilidad de harina cruda preparada con materiales de zona de contacto de capas geológicas para la fabricación de clínker en la manufactura de cemento (Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química) Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Guatemala. 25p.

Verplanck P. (2017). Carbonatite and Alkaline Intrusion-Related Rare Earth Elements Deposits-A Deposit Model. Reston, Virginia, USA: Geological Survey. Disponible en la dirección: <https://pubs.usgs.gov/sir/2010/5070/j/pdf/sir2010-5070J.pdf> Consultado: septiembre de 2022.

Vola, G., & Sarandrea, L. (2014). Lime Reactivity Study. Italy: World Cement. Disponible en la dirección: http://www.cimprogetti.com/K_2014_EN_029.pdf 27. Consultado: abril de 2022.

Zamora, E. (2013) Principios de tecnología azucarera., Universidad Nacional Experimental De los Llanos Occidentales.

NC 54-06:85 Cal Hidratada y Calizas. Determinación de la humedad.

NC 54-07:85 Hidrato de Cal. Toma de muestras.

NC 54-10:85 Determinación de la pérdida por ignición en cales y calizas.

NC 54-27:85 Determinación de los carbonatos totales en cales y calizas.

NC 54-32:85 Determinación de la resistencia a la compresión.

NC 54-33:85 Determinación del contenido de residuos insolubles en cales y calizas.

NC 54-34:85 Determinación de dióxido de silicio en los residuos insolubles de cales y calizas.

NC 54-279:84 Óxido de calcio e hidrato de calcio. Determinación volumétrica del porcentaje utilizable.

NC 54-285:84 Cal viva. Especificaciones de calidad.

NC 54-286:84 Hidrato de cal. Especificaciones de calidad.

NC 54-298:84 Cales y calizas. Términos y Definiciones.

NC 54-319:85 Cal Hidratada. Determinación de la velocidad de sedimentación.

NC 54-320:85 Cales y calizas. Determinación de la consistencia de la masilla de cal.

NC 54-321:85 Cal viva. Determinación de la velocidad de apagado cales y calizas.

NC 54-323:85 Análisis Granulométrico.

NC 54-324:85 Cales y calizas. Determinación de residuos.

NC 54-325:85 Determinación de elementos pertenecientes al grupo de hidróxidos de amonio en cales y calizas.

NC 54-326:85 Cales y calizas. Determinación de azufres.

NC 54-327:85 Cales y calizas. Determinación fotométrica del fósforo.

NC.54-328:85 Determinación del óxido de magnesio en cales y calizas. Método de ensayo gravimétrico.

NC.54-329:85 Determinación del óxido de calcio en cales y calizas. Método de ensayo gravimétrico.

NC.54-330:85 Yeso calcinado. Especificaciones de calidad.

NC.54-337:85 Determinación del óxido de magnesio en cales y calizas.

NC.54-338:85 Determinación del óxido de aluminio en cales y calizas.

NC.54-339:85 Determinación del óxido de hierro en cales y calizas.

NC.54-340:86 Determinación del óxido de hierro en cales y calizas. Método colorimétrico.

NC.54-341:85 Determinación del óxido de calcio en cales y calizas.

NC.54-342:86 Masilla de cal. Especificaciones de calidad.

NC.92-43:86 Certificación de los equipos de ensayo.

NEA 2947.01:89 Norma de empresa. Hidrato de cal. Especificación de calidad.

NRA 1:06 Cal hidratada para uso en la industria azucarera. Especificaciones.

NC 1142 Cal hidratada y cal viva para el uso en la industria azucarera.

(Editorial de los Oficios de León. Guía Práctica de la Cal y el estuco, 2015).

1. Anexos



Fig.1 Hidratadora de la Planta de Cal de Urbano Noris



Fig. 2 Molino de Martillo.



Fig.12 Hidratador principal.



Fig. 13 Saco con Hidrato de cal.



Fig. 14 Almacén calera.