



Universidad del Desarrollo
Facultad de Ingeniería

**ESTRATEGIA DE CONTROL EN EL ÁREA DE
CAUSTIFICACIÓN, CASO DE ESTUDIO PLANTA DE
PULPA DE CELULOSA CHILENA:
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
CONTROL AUTOMÁTICO**

FELIPE IGNACIO IRARRÁZABAL DURÁN

PROFESOR(ES) GUÍA: ALEX GODOY FAÚNDEZ, PhD
HÉCTOR VALDÉS GONZÁLEZ, PhD

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE
MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

CONCEPCIÓN – CHILE
2023



Universidad del Desarrollo
Facultad de Ingeniería

ESTRATEGIA DE CONTROL EN EL ÁREA DE CAUSTIFICACIÓN, CASO DE ESTUDIO PLANTA DE PULPA DE CELULOSA CHILENA: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

POR: FELIPE IGNACIO IRARRÁZABAL DURÁN

Proyecto de Grado presentado a la Comisión integrada por los profesores:

PROFESORES GUIA: Alex Godoy Faúndez, PhD y Héctor Valdés González, PhD

PROFESOR INTEGRANTE 1: Lorenzo Reyes Bozo, PhD

PROFESOR INTEGRANTE 2: José Luis Salazar, PhD

Para completar las exigencias del Grado de Magíster en Ingeniería Industrial y de
Sistemas.

Enero, 2023

Concepción, Chile

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Por medio de la presente, declaro que el trabajo titulado: **ESTRATEGIA DE CONTROL EN EL ÁREA DE CAUSTIFICACIÓN, CASO DE ESTUDIO PLANTA DE PULPA DE CELULOSA CHILENA: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO**, que presento a la Universidad del Desarrollo de Chile, es de mi autoría (o co-autoría) y no ha sido publicado previamente, ni está siendo considerado para publicación bajo otra filiación. En igual sentido, declaro que el trabajo de tesis y su contenido, son originales y que todos los datos y referencias a trabajos ya publicados con anterioridad han sido debidamente identificados, referenciados o citados en el documento, y que estas citas han sido incluidas en las referencias bibliográficas. Afirmo, asimismo, que los materiales presentados no se encuentran protegidos por derechos de autor; y en caso de que así lo estuvieran, me hago responsable de cualquier litigio o reclamo relacionado con la violación de derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad a la Universidad del Desarrollo de Chile.

Finalmente, me comprometo a no someter este trabajo (o parte de este), a consideración en ninguna revista o congreso para publicación sin contar con la aprobación y haber pasado el debido proceso de revisión en Universidad del Desarrollo. En caso de que un artículo sea aprobado para su publicación, autorizo a la Universidad del Desarrollo a incluir dicho artículo en sus revistas, y a reproducirlo, editarlo, distribuirlo, exhibirlo y comunicarlo en el país y en el extranjero, por medios impresos, electrónicos, Internet o cualquier otro medio, para propósitos científicos y sin fines de lucro.



FELIPE IGNACIO IRARRÁZABAL DURÁN

Firma

*A todo aquel que ha formado parte
de mi desarrollo como persona y profesional,
y que en menor o mayor medida
ya sea a través de un simple comentario
o grandes enseñanzas
ha logrado impulsarme a mejorar
y seguir en búsqueda del conocimiento.*

AGRADECIMIENTOS

En esta pequeña reseña quisiera presentar no solo mis agradecimientos, sino que también compartir este logro con las personas que me han apoyado y ayudado a lo largo de esta etapa.

En primer lugar me gustaría agradecer a mis padres Tufic Irarrázabal y Cecilia Durán por su apoyo incondicional, su enorme paciencia y su constante esmero en hacerme mejorar en cada aspecto de mi vida hasta el día de hoy. Sin lugar a dudas forman gran parte de la inspiración que me hace superarme tanto en el ámbito personal como profesional.

A mi pareja Josefa Quiñones la cual ha sido una persona muy importante dentro de mi desarrollo, mostrándome no solo una mirada positiva de las cosas, sino que también encontrando siempre la forma de motivarme y sacar lo mejor de mí.

A los profesores Alex Godoy y Héctor Valdés por permitirme realizar junto a ellos este trabajo y guiarme de forma constante en su desarrollo, dándome y llevándome a tener una mirada más global, sistémica e integrada de las situaciones y desafíos que se han planteado en este documento.

A don Víctor Sepúlveda por darme la oportunidad y los espacios dentro de la ajetreada y demandante estructura laboral que se lleva dentro de una fábrica de celulosa de poder realizar este magister profesional, además de su constante guía en aspectos que van más allá de lo laboral y académico.

A mis compañeros de magister, en particular a Aissa Buholzer y Francco Cid con quienes conocí el otro lado de este desarrollo académico, el que lleva consigo la coordinación, el apoyo, la interacción y a veces la discusión de diferentes puntos de vista y formas de abordar problemáticas.

A mis amigos y cercanos, lo cuales estuvieron presentes en los buenos y en los malos momentos que se presentaron a lo largo de esta etapa académica y cuyas profundas conversaciones, constante guía y consejos han sido un soporte fundamental en mi evolución como persona y en mi forma de mirar la vida.

ESTRATEGIA DE CONTROL EN EL ÁREA DE CAUSTIFICACIÓN, CASO DE ESTUDIO PLANTA DE PULPA DE CELULOSA CHILENA: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

Felipe Ignacio Irarrázabal Durán

Bajo la supervisión de los Profesores Alex Godoy Faúndez, PhD y Héctor Valdés González, PhD, en la Universidad del Desarrollo de Chile

Resumen

Este trabajo presenta la implementación realizada a través de una estrategia de control automático de sistemas, utilizada en el proceso de caustificación de una planta de pulpa de celulosa chilena, en el contexto de obtener mejoras en el control de la operación y una disminución la variabilidad dentro del mismo. El objetivo de este trabajo es implementar un sistema de control sobre variables continuas de proceso, para pasar de un modo de control manual a automático manteniendo rangos de control aceptables en la causticidad y disminuyendo la variabilidad dentro de la operación. Para lograrlo se estudia la forma de control actual y la estabilidad entregada por el mismo, a través de un análisis estadístico que refleje el desempeño del área y que en base a la implementación de un sistema de control PID pase desde un control manual existente a uno automático en base a experiencias obtenidas de la literatura para la implementación de la estrategia de control experimental en la industria. Los datos muestran que el proceso operado de forma manual tiene una media de 83,16% de eficiencia caustica, una desviación estándar de 1,43%, se observa que una vez implementado el control automático la media disminuye a 82,23% y la desviación estándar disminuye a 1,19%. Se concluye dada la evidencia estadística que una vez implementado el control de operación en automático el proceso logra entrar en el rango definido a como media y disminuir si variabilidad medida a través de la desviación estándar.

PALABRAS CLAVE: Chemical recovery, pulp mill, slaker, green liquor, process control.

HIGHLIGHTS

ESTRATEGIA DE CONTROL EN EL ÁREA DE CAUSTIFICACIÓN, CASO DE ESTUDIO PLANTA DE PULPA DE CELULOSA CHILENA: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

FELIPE IGNACIO IRARRÁZABAL DURÁN

- Una estrategia de control para estabilizar la causticidad en una planta de licor blanco.
- Evitar descontroles en la planta de licor blanco y en áreas colindantes.
- Análisis del comportamiento de causticidad y su forma de control.
- Estabilizar la variable de causticidad a través de una estrategia de control automático.
- La causticidad presenta una línea base de media de 83.16% y una desviación estándar de 1,43% y es llevada a una media de 82,23% y desviación estándar de 1,19%.

ÍNDICE GENERAL

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN	8
1.1	ESTRATEGIA DE CONTROL PARA LA CAUSTICIDAD EN PLANTA DE PULPA DE CELULOSA CHILENA	10
1.2	BREVE DISCUSIÓN DE LA LITERATURA	10
1.3	CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO	13
1.4	OBJETIVO GENERAL	14
1.4.1	<i>Objetivos específicos</i>	14
1.5	PROPUESTA METODOLÓGICA	14
1.6	ORGANIZACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTE TRABAJO	18
2	INFORMACIÓN Y RESULTADOS	19
2.1	PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS	19
2.2	PROCESO DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN	21
2.3	LOS DATOS RECOGIDOS	21
2.4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	21
2.5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	27
3	ARTÍCULO	29
4	CONCLUSIONES GENERALES	40
4.1	PROPUESTA PARA TRABAJOS FUTUROS	41
5	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	42
6	ANEXO: REPORTE DE PLAGIO.....	44
7	ANEXO: DATOS ASOCIADOS A VARIABLE CAUSTICIDAD	45

1 INTRODUCCIÓN

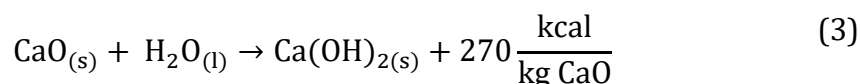
En la industria de celulosa, específicamente el proceso de caustificación recupera el licor blanco desde los productos inorgánicos originados en la caldera recuperadora y el horno de cal. El proceso posee una importancia clave para el proceso de producción de pulpa de celulosa, dado que la viabilidad y estabilidad de una planta dependen de la capacidad instalada del sistema de caustificación para convertir carbonato de sodio en hidróxido de sodio y de esta forma proveer licor blanco en una cantidad y calidad adecuada para el digestor (Green y Hough, 1998; Hart, Hanson III y Manning, 2021).

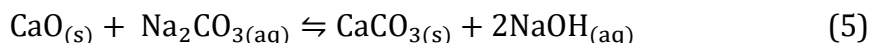
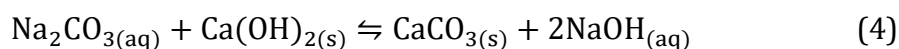
La cocción de la madera se realiza a través del licor blanco producido en el área de caustificación, de esta forma es importante que este posea una concentración de álcali activo (ecuación 1) o álcali efectivo (ecuación 2) adecuado y estable, en donde NaOH y Na₂S representan las concentraciones de hidróxido de sodio (soda caustica) y sulfuro de sodio respectivamente. La medida de estas concentraciones requeridas determinara la exigencia que se debe transmitir al área de caustificación (Sánchez, 2002; Hart, Hanson III y Manning, 2021).

$$\text{Álcali activo} = \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} \quad (1)$$

$$\text{Álcali efectivo} = \text{NaOH} + \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{S} \quad (2)$$

La química de una planta de licor blanco puede ser descrita a través de dos reacciones, la reacción de apagado de cal (ecuación 3) y la reacción de caustificación (ecuación 4). La reacción de apagado es exotérmica y se lleva a cabo entre la cal viva (CaO) adicionada al proceso y el agua (H₂O) que se encuentra en el licor verde, obteniendo de esta forma hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) más energía. Posteriormente la reacción de caustificación se genera entre el hidróxido de calcio de la ecuación 3 y el carbonato de sodio (Na₂CO₃) para obtener una mezcla entre carbonato de calcio (CaCO₃) e hidróxido de sodio (NaOH). Finalmente, la reacción global del proceso puede ser escrita de una manera más simple (ecuación 5) como la sumatoria de ambas reacciones descritas anteriormente o en términos generales como la obtención de licor blanco a partir de licor verde y cal (ecuación 6), sin embargo, debe existir claridad de que esta sucede en dos pasos (Sanchez, 2002).





La reacción de caustificación al ser un equilibrio químico es reversible y por ende nunca alcanzará la conversión completa del carbonato de sodio a hidróxido de sodio (Costa, Pimenta y Figueiredo, 2010). Usualmente solo un 80% del disponible en carbonato de sodio pasa a ser hidróxido de sodio en lo que se conoce como eficiencia de caustificación (Sánchez, 2002) (ecuación 7).

$$\text{Eficiencia de caustificación} = \frac{\text{NaOH}}{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3} \times 100 \quad (7)$$

Estas reacciones se llevan a cabo en equipos del proceso, la primera de ellas en el apagador de cal (ecuación 3), el cual es un reactor que cuenta con sistemas de dosificación de cal viva, licor verde y un sistema de retiro de impurezas, adicionalmente se da inicio en el mismo equipo a la reacción de caustificación (ecuación 4), para posteriormente continuar en la batería de caustificación, los cuales son estanques en los que se busca aumentar el tiempo de residencia de la reacción (figura 1). Finalmente una vez recorrido este proceso el licor es retirado a la siguiente etapa determinando su calidad a través de la medición de laboratorio la cual entrega un valor de causticidad o eficiencia de caustificación (ecuación 7).

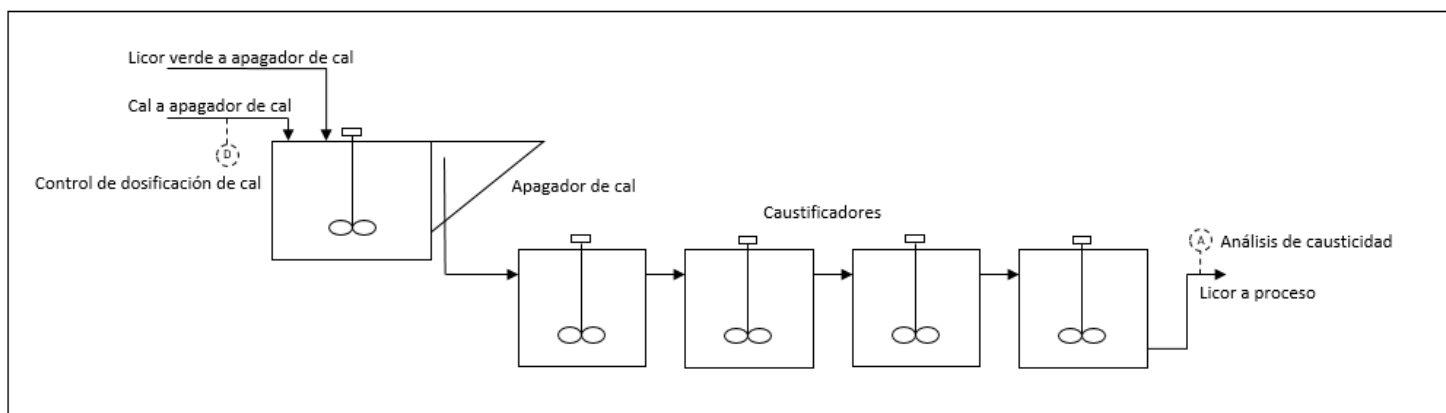


Figura 1: Proceso de caustificación desde apagador de cal hasta salida de licor a proceso (Fuente: Elaboración propia)

1.1 Estrategia de control para la causticidad en planta de pulpa de celulosa chilena

Dado esta realidad, es posible efectuar el siguiente cuestionamiento de contexto: ¿Qué tipo de control automático es posible desarrollar e implementar para la variable de causticidad de esta planta de pulpa de celulosa en particular?

En efecto, en esta planta de pulpa de celulosa ubicada en Chile no se dispone de un sistema de control, cuya estrategia automática permita un exitoso manejo de la variable causticidad, por lo que regularmente se opera en modo manual.

1.2 Breve discusión de la literatura

Eficiencia de caustificación, su efecto en el proceso de producción de licor blanco y pulpa de celulosa

Un descontrol en el área de caustificación y en particular en la variable resultante de la causticidad (o también conocida como eficiencia de caustificación) puede generar no solo problemas internos del manejo del área como tal, sino que también problemas globales en la producción de celulosa (Reid y Trung, 2013).

Al observar la ecuación 4 se puede interpretar que para obtener una mejor calidad en el licor blanco medida a través del álcali activo o efectivo (ecuación 1 y 2) la reacción puede ser desplazada a la derecha si se adiciona más cal, sin embargo, esta práctica genera efectos adversos en el desempeño del proceso debido a la presencia de cal libre no reaccionante. Estos problemas son conocidos como 'overliming' y suele causar sellamiento de los filtros que realizan la separación sólido-líquido del carbonato de calcio y el hidróxido de sodio (ver ecuación 7), este sellamiento genera indisponibilidad del área con tiempos fuera de servicio que van desde 2 a 6 horas (Valmet, 2020), lo que se puede evitar a través de una estrategia de control adecuada.

De esta forma se podría llevar la ecuación 4 a una zona de trabajo con un bajo contenido de cal libre para no tener problemas en la performance filtrante del área de caustificación. Sin embargo, una falta de óxido de calcio en la reacción llevaría a no conseguir los valores de álcali activo o efectivo (ecuación 1 y 2) para realización una buena cocción de la madera, lo que implica a su vez un aumento de rechazo de productos (o madera no cocida en la línea de fibra).

Así se establece un límite para la eficiencia de caustificación (usualmente cercana a un 80%) de forma tal que esta cal libre no genere un problema operacional mayor dentro del área, generando una banda en la cual se logra una eficiencia de caustificación lo suficientemente alta para generar una buena cocción de la madera, pero lo suficientemente baja para no generar problemas operacionales (Reid y Trung, 2013).

La eficiencia de proceso de caustificación o causticidad es afectada y controlada por una serie de factores tales como calidad y cantidad de cal alimentada, concentración y temperatura del licor verde, temperatura del apagador e intensidad de la reacción en el apagador de cal.

Métodos para una estabilización en la eficiencia de caustificación

La teoría señala que para obtener un control de la causticidad se requiere que los parámetros de entrada sean lo más estables posible. Se entiende como parámetros de entrada: la calidad del licor verde y la calidad de entrada de la cal, teniendo estos dos parámetros estables (como base) es posible controlar la estabilidad a través de las variables de operación, es decir, la temperatura del apagador, temperatura del licor verde y causticidad del proceso (variable de salida y de resultado).

El control tradicional de caustificación consiste en ajustar la dosificación de cal y/o la concentración del licor verde en función de los resultados de la causticidad en el último caustificador y su posterior envío a la siguiente unidad del proceso (etapa final de la reacción de caustificación). Al ser un proceso que tiene como mínimo una residencia de 3 a 4 horas (dependiendo de la cantidad de licor verde y el volumen disponible), al obtener el resultado los ajustes realizados en el inicio del proceso no logran otorgar estabilidad en la causticidad (ver figura 1).

En la industria de la celulosa y en partir las áreas de caustificación se han desarrollado diferentes tipos de métodos y/o tecnologías para dar solución a inestabilidad en el área de caustificación. La gama de soluciones es bastante amplia sin embargo este inciso se centrará en cuatro de ellas:

Control por diferencia de temperatura entre el licor verde y el apagador (delta), control por temperatura del apagador, control por conductividad y control avanzado utilizando la medición de composiciones (Hart, Hanson III y Manning, 2021).

Control por delta temperatura

El control tradicional por diferencia de temperatura controla la diferencia de temperatura existente entre el apagador de cal y el licor verde de entrada a este mismo, en base a este parámetro determina la dosificación o disminución de cal al proceso. Este tipo de estrategia de control consiste en determinar un set point (referencia) para este valor 'delta' y en función de este mismo el sistema realiza ajustes en la dosificación de cal buscando mantener este 'delta' constante. Al tratarse de una reacción exotérmica, que es la que se busca controlar, se puede decir, desde un enfoque experimental, que a medida que el sistema observa que esta diferencia es más baja que la solicitada el sistema adiciona más cal para otorgar mayor temperatura al sistema, y en la medida que alcanza más temperatura el sistema disminuye la dosificación de cal para retirar energía al sistema.

Entre las debilidades básicas de esta estrategia de control, es posible mencionar el que no toma en cuenta la calidad de la cal (y cambios que puedan existir en la misma) y/o la calidad y la temperatura del licor verde. Dicho así, siempre pueden existir descontroles en el parámetro final (eficiencia de caustificación) si no se posee un control adecuado o adicional en los parámetros de entrada (Hart, Hanson III y Manning, 2021).

Control por temperatura del apagador

El control por temperatura del apagador consiste, como estrategia de control, en mantener constante la temperatura de este sistema con la finalidad de obtener una causticidad deseada al final del proceso. A diferencia del control 'delta' este sistema genera variaciones en el control de la temperatura del licor verde en función de su calidad, que es determinada por su densidad, con la finalidad de mantener constante la temperatura del apagador, si la calidad y temperatura del licor verde se mantienen constantes, entonces el sistema genera variaciones en la dosificación de cal para aumentar o disminuir la energía entregada por la misma al sistema (Gough, Meade, England y Kovac, 2007).

Control por conductividad

Este tipo de control busca correlacionar la variación en la concentración de soda caustica (NaOH) a lo largo del proceso, con la eficiencia de caustificación. Esto se logra a través de sondas censoras en diferentes puntos de proceso que determinan como aumenta la conductividad en el proceso, y en función de esta misma determinar la acción requerida sobre la dosificación de cal en el apagador (Hart, Hanson III y Manning, 2021).

Usualmente los problemas asociados a este tipo de estrategia de control se relacionan con que las sondas de medición tienden a fallar, ya sea por suciedad asociada a la operación del proceso, y a que son muy sensibles a la composición de los licores (verde y blanco). Adicionalmente este tipo de control no mide directamente la causticidad si no que es calculada a través de valores de conductividad, lo que provoca que el error aumente antes las fallas mencionadas anteriormente (Trung y Allison, 2015).

Control avanzado utilizando la medición de composiciones

Este tipo de control se ha vuelto más común en la búsqueda de la estabilización en las áreas de caustificación, consta de un sistema de toma de muestra en diferentes puntos del proceso que ayuda a determinar la concentración de las diferentes sales a lo largo del proceso de caustificación. En base a estas se determinan una serie de controles que supervisan la adición de cal en función de las causticidades obtenidas desde las muestras (Trung y Allison, 2015). Finalmente se observa que existen diferentes formas para controlar el proceso de caustificación, centradas en el control del apagador para obtener una variable de salida estable (causticidad o eficiencia caustica). A pesar de que las posibles soluciones son variadas, la implementación o no de cada una de ellas dependerá de la realidad de la planta, esta debe considerar recursos, a nivel de personas y a nivel de inversión, particularidades de cada proceso, entre otras variables que pueden o no resultar fundamentales.

Finalmente, y habiendo revisado las principales contribuciones que aportan o han aportado a la línea de trabajo de este proyecto, es posible indicar que una oportunidad de desarrollo se encuentra en el hecho que no existe, para el caso de esta planta de pulpa de celulosa chilena, información suficiente o certeza, respecto de una estrategia de control automático para la causticidad en la planta de licor blanco. Lo que autoriza la siguiente como contribución para este proyecto de grado.

1.3 Contribución del trabajo

Habiendo recorrido las bases teóricas fundamentales para este estudio, cabe mencionar que la principal motivación para realizarlo ha sido el desarrollo de un control que otorgue estabilidad en el área de caustificación (planta de licor blanco), cuyo modo de operación sea automático y no manual, dentro de rangos establecidos, brindando continuidad operativa tanto a esta área como a sus colindantes, a través del control de su variable más importante:

la causticidad o eficiencia de caustificación. Se propone e implementa entonces un sistema de control adecuado y ajustado a la necesidad del proceso de planta de licor blanco, generando una menor variabilidad en el parámetro de salida del sistema determinado como causticidad y mejorando la operación del proceso en su conjunto. En este sentido, este trabajo contribuye a la continuidad operativa de procesos continuos de la industria de celulosa, a través del control de variables que aportan confiabilidad a un área que se interrelaciona con grandes áreas del proceso de producción de celulosa. Entendiendo que, una adecuada estrategia de control de procesos industriales, que se estable, aporta a la estabilización y mejoras de las operaciones de la planta de pulpa de celulosa transversalmente.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, este trabajo considera los siguientes como objetivo general y objetivos específicos para este trabajo de tesis.

1.4 Objetivo general

Implementar un sistema de control sobre variables continuas, que aporten al control y la estabilidad del proceso, buscando controlar la eficiencia de caustificación en la salida del proceso y de esta forma pasar de un modo de control manual a un modo automático manteniéndose en rangos de control aceptables para la continuidad del proceso.

1.4.1 Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento en un periodo determinado de tiempo de la variable causticidad y forma de control actual.
- Seleccionar un modelo que considere el método de control de la causticidad que se ajuste de mejor manera al comportamiento pasado de esta variable y a los recursos existentes dentro de la planta de licor blanco.
- Comparar el desempeño del control automático implementado en función de la estrategia de control existente hoy.

1.5 Propuesta metodológica

El estudio se efectuó en una compañía productora de papeles y cartones. Esta es una compañía global, con 100 años de historia que entrega soluciones sostenibles a sus clientes y consumidores. Su quehacer es la producción y comercialización de madera, celulosa,

productos de embalaje, productos sanitarios, de fuera del hogar y de papel tissue. Estos satisfacen necesidades de personas, destacando su calidad, competitividad, y elaboración a base de recursos totalmente renovables. Actualmente esta compañía cuenta con 20.000 trabajadores directos y cuenta con presencia en 11 países a nivel comercial e industrial.

En particular el foco de negocio de su filial "Pulp" se encuentra asociado a la producción de celulosa kraft blanqueada, la cual produce pulpa de celulosa tanto de fibra larga de pino radiata como de fibra corta, de eucalipto. Ambas elaboradas a partir de madera proveniente de bosques cultivados, lo cual garantiza una pulpa con propiedades físicas y mecánicas consistentes y estables. Sus cuatro plantas –tres de ellas ubicadas en Chile, además de una ubicada en Brasil– tienen una capacidad de producción de 4,2 millones de toneladas de celulosa anuales. Sus principales productos son: celulosa kraft blanca de pino radiata (BSKP), papel sack kraft, celulosa kraft no blanqueada (UKP), celulosa kraft blanca de eucalipto (BEKP) y P&W.

En este contexto, para implementar un sistema de control para la causticidad a través de variables continuas del proceso de caustificación se ha optado por la utilización de una metodología cuantitativa basada en el desarrollo y la implementación de un lazo de control que permite controlar de forma automática la eficiencia de caustificación en la planta de licor blanco (Restrepo et al, 2009).

El estudio consideró un periodo desde 01/08/2022 hasta el 16/08/2022 para la realización del análisis del comportamiento de causticidad en el proceso previo a la implementación de una estrategia de control de procesos (línea base). Posteriormente una vez diseñado, sintonizado e implementado el lazo de control, es decir, a partir del día 16/08/2022 hasta el día 24/09/2022, los datos asociados a la causticidad del proceso de la planta de licor blanco son discretos y son muestreados y analizados en un laboratorio de terreno con una frecuencia mínima de dos horas.

Para el sustento teórico de la estrategia e implementación de un lazo de control PID, se efectuaron análisis de implementaciones publicadas en revista de corriente principal considerando conceptos como: recaustizing control, slaker control, white liquor plant control, pulp mill process control y chemical recovery.

Esto permite establecer que, cada una de las soluciones entregadas a procesos específicos varía en función de su propia realidad a nivel operacional y a nivel de recursos de cada una

de las fábricas de celulosa y en particular de cada una de las plantas de generación de licor blanco (Restrepo et al, 2009).

Los datos de interés son obtenidos a través de plataformas de acceso propias de la compañía y pertenecientes a la planta de pulpa de celulosa chilena, que permiten realizar el levantamiento de estos datos a través de Excel, de esta forma es posible realizar descarga de datos por cada análisis realizado de variables discretas (causticidad) y el valor existente para las variables continuas en un determinado instante de tiempo (temperaturas y diferencia de temperaturas). Una vez descargados son analizados a través de la herramienta Minitab (Khan, 2013).

Para efectuar el análisis de los datos se determinó el comportamiento estadístico de la variable eficiencia de caustificación para determinar la línea base en el periodo de tiempo comprendido entre 01/08/2022 hasta el 16/08/2022, con base en lo propuesto en (Costa, Pimenta y Figueiredo, 2010). Trabajo en el que a través de un gráfico que muestra la dispersión de los datos de causticidad por un determinado periodo de tiempo se contrasta con el valor objetivo deseado por planta, adicionalmente a través de este conjunto de datos y con la finalidad de generar un análisis acabado de los datos se determinan los siguientes estadísticos de datos a través del programa Minitab: media, desviación estándar, rango, mínimo y máximo.

Una vez implementada la lógica de control, es decir, a partir del día 16/08/2022 hasta el día 24/09/2022 se toman datos diferenciando estado del control implantado entre encendido (ON) y apagado (OFF) y se realiza un gráfico de dispersión para observar el número comportamiento de la variable, determinando de igual manera los estadísticos descritos en el párrafo anterior.

Posteriormente dado que los datos obtenidos se encuentran en periodos de tiempo distintos y representan un antes y un después en la forma de controlar (y operar el proceso), se determina que su diferencia estadística sea significativa inicialmente a través de una prueba de normalidad de los datos obtenidos. Consecuentemente y acorde a los resultados de la prueba de normalidad a través de estadística inferencial se determina si existe diferencia significativa o no entre las muestras, a través de test no paramétricos, tales como la prueba de mediana de Mood y la prueba de Kruskal-Wallis (Colón, 2020).

Implementación de un control automático: La estrategia de control en automático consiste en un sistema que controla la dosificación de cal hacia el apagador, para su posterior reacción con el licor verde a través de una estabilidad en la diferencia de temperatura entre el apagador de cal y el licor verde (ambas variables disponibles por transmisores de temperatura instaladas en el proceso actual).

El sistema de control, con base en un controlador PID, se sintoniza, buscando mantener esta diferencia de temperatura constante (entre la temperatura del apagador de cal y la temperatura del licor verde de entrada hacia el mismo), lo que genera cambios en la dosificación de cal. Posteriormente realiza cambios (ajustes finos de la sintonía del controlador) de existir una variación en la causticidad objetivo (su referencia).

Bajo este sistema el operador ingresa un “set point” de causticidad objetivo y el sistema se alimenta tanto de los valores ingresados por laboratorio (medidos cada dos horas) y de las variables que se encuentran disponibles de forma continua (temperaturas y dosificación de cal), de existir diferencias entre la causticidad objetivo ingresada por el operador y la entregada por el laboratorio el sistema ajusta la dosificación de cal y genera variaciones en la diferencia de temperatura buscada. Aumentándola de buscar una mayor eficiencia de caustificación o disminuyéndola de buscar una menor causticidad. Al existir un tiempo de residencia (técnicamente un retardo) de alrededor de cuatro horas dentro del proceso, los cambios son realizados de forma sensible en el proceso (figura 2).

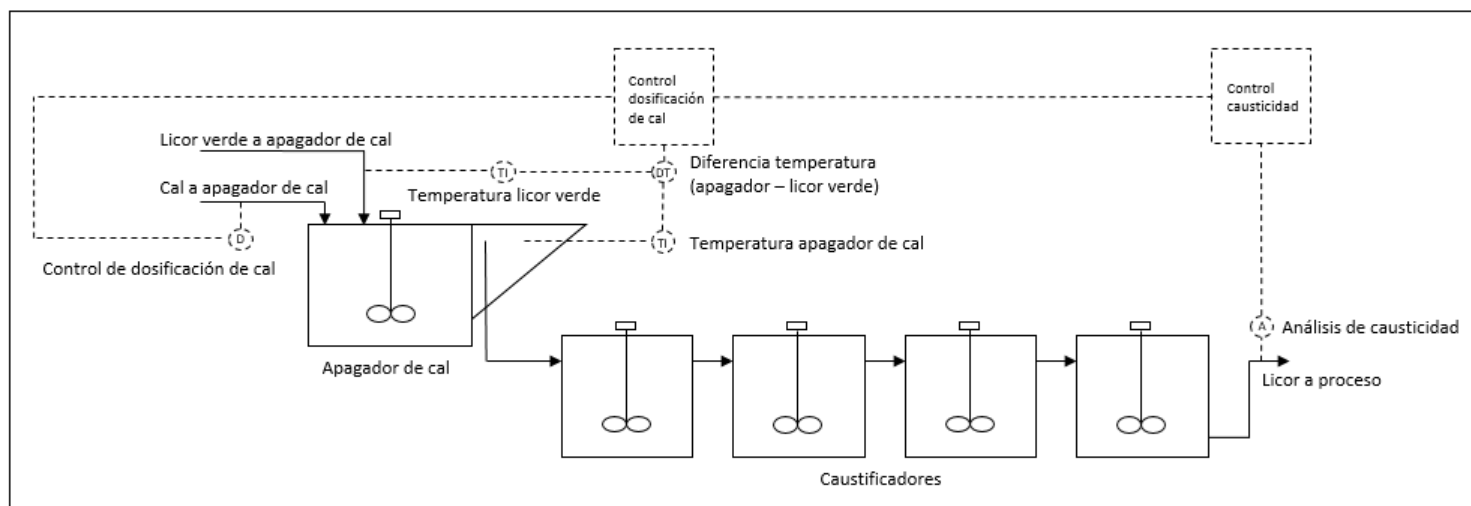


Figura 2: Estrategia de control de causticidad en modo automático (Fuente: Elaboración propia)

1.6 Organización y presentación de este trabajo

Este trabajo de grado posee cuatro capítulos principales y se organiza como sigue:

Capítulo 1: Presenta el marco conceptual del proyecto, contextualizándolo, proponiendo objetivos y discutiendo desde la literatura la pertinencia del foco de la investigación, su contribución, y presentando a su vez un marco metodológico para su desarrollo e implementación.

Capítulo 2: Asociado a recogida de información, modelos y datos. También explicita resultados.

Capítulo 3: El proyecto de grado, se presenta en formato resumido en un artículo académico que se estructura de la siguiente manera:

1. Título
2. Resumen
3. Introducción
4. Metodología
5. Resultados
 - a. Discusión de resultados
6. Conclusiones
7. Referencias

Capítulo 4: Finalmente las conclusiones generales derivadas de este trabajo, y una dirección para la investigación futura, la cual considera aquellas preguntas no contestadas durante el desarrollo de este trabajo, se presentan en este capítulo.

Referencias generales

Anexos

2 INFORMACIÓN Y RESULTADOS

Para abordar este trabajo de investigación se ha optado por una aproximación cuantitativa, que permite considerar la siguiente estructura para la presentación de la información y sus análisis:

2.1 Procedimiento de recogida y análisis de datos

Esta investigación analiza dentro de una planta de pulpa de celulosa chilena el tipo de control existente y la posterior implementación de un control en automático para la variable de causticidad en la planta de licor blanco. Por tal motivo, se implementó en el año 2022 una estrategia de control automático con la finalidad de otorgar mayor estabilidad al proceso continuo enmarcado dentro de la producción de celulosa. En particular se desarrolló un control PID enfocado en el control de variables continuas dentro del proceso.

El método utilizado en este estudio es de control de procesos, dado que se utilizan elementos que basados en la automatización y el control de variables dentro un proceso productivo.

Fechas en que se recogieron los datos:

Entre el 01 de agosto de 2022 y 16 de agosto de 2022 (control manual).

Entre el 16 de agosto de 2022 y 24 de septiembre de 2022 (control automático).

Coherencia con lo planificado:

Le implementación de la estrategia de control automática, debió ser pausada parcialmente en su proceso de implementación de acuerdo a las necesidades del proceso, diferenciando de esta manera un estado del control apagado (OFF) y encendido (ON).

Fortalezas y debilidades del proceso:

Fortalezas:

- Proceso rápido
- Utiliza datos
- Bien recibido por la empresa
- Permitió dar respuesta a la pregunta de investigación

Las debilidades propias de la investigación de contexto se circunscriben a:

- Para generalizar resultados, se requiere una mayor muestra temporal de datos y analizar el comportamiento a largo plazo del control automático
- Analizar más exhaustivamente el control automático realizado para mejorar sintonía de este
- Considerar otras plantas dentro del rubro de la celulosa que cuenten con plantas de licor blanco

Datos

Además de o planteado en el marco metodológico, en la sección de datos sobre la que se efectuará el estudio, se hace notar que en este caso se toman datos en un periodo de tiempo, realizando el análisis del comportamiento de causticidad en el proceso previo a la implementación del control (línea base) y en el periodo posterior una vez implementado el control.

Instrumento

Como se indicó anteriormente, para recoger información sobre el tema denominado implementación de una estrategia de control en el área de caustificación, se efectuaron análisis de implementaciones publicadas en revista de corriente principal considerando conceptos como: recaustizing control, slaker control, white liquor plant control, pulp mill process control y chemical recovery. En base a esto se desarrolló una estrategia de control en el área de caustificación basada en el control de la diferencia de temperatura entre el apagador de cal y la temperatura de licor verde de entrada al proceso (figura 2).

Este sistema de control automático para la variable de causticidad se aplicó como dentro del área de caustificación, previo consentimiento informado. A partir de dicha implementación se provoca un espacio de prueba y posterior análisis de los datos obtenidos en función del comportamiento de la variable estudiada.

2.2 Proceso de recogida de información

Como se ha indicado anteriormente, los datos de interés son obtenidos a través de plataformas de acceso propias de la compañía y propios de la planta de pulpa de celulosa chilena. De esta forma es posible realizar descarga de datos por cada análisis realizado de variables discretas (causticidad) y el valor existente para las variables continuas en un determinado instante de tiempo (temperaturas y diferencia de temperaturas).

2.3 Los datos recogidos

La agrupación de resultados por categorías claves, agrupando la información para su posterior análisis queda dada para su posterior tratamiento. Diferenciando en su recolección el momento en que la operación del proceso se encontraba con un control manual (estado inicial), para posteriormente pasar a un control automático, en el cual se separa el estado del control entre encendido y apagado (Anexo: Datos asociados a variable causticidad).

2.4 Análisis e interpretación de los datos

A continuación, se presentan los resultados de la estrategia de control propuesta.

Inicialmente se realizó la determinación de los estadísticos básicos de la causticidad los cuales observan en la tabla I, estos son la media, desviación estándar, mínimo, máximo y rango en el periodo de tiempo comprendido entre el 01/08/2022 00.00 horas y el 16/08/2022 12.00 horas, adicionalmente la obtención de un histograma para observar la forma en la que se encuentran distribuidos los datos en este periodo, como se observa en la figura 3. Posteriormente, se observa gráfico temporal del comportamiento de la causticidad en donde se destaca con rojo el rango definido para la operación normal de la planta de licor blanco entre 80% y 83% de eficiencia de caustificación (figura 4).

Tabla I: Estadísticos periodo base

Estadístico	Valor
Media	83,16
Desviación estándar	1,43
Rango	7,86
Máximo	85,90
Mínimo	78,03

Posteriormente se procede a realizar un análisis equivalente al realizado en la línea base, pero una vez implementado el control automático en el apagador de cal. En este tiempo se diferencia el periodo en el cual el control se encontraba en estado encendido (ON) y en el cual se encontraba en estado apagado (OFF), estos datos se encuentran comprendidos desde el 16/08/2022 14.00 horas hasta el 14/09/2022 21.00 horas. Se observa en la tabla II los estadísticos básicos una vez implementado el control, considerando que en este periodo el control por momentos se encontraba en diferentes estados dependiendo de factores operacionales. De igual forma en la figura 6 se observa el gráfico de series de tiempo de esta misma implementación contrastando de igual manera el comportamiento respecto al rango definido por planta entre 80% y 83% para la eficiencia de caustificación, en ella se logra visualizar la diferencia gráfica entre la operación manual y la operación de forma automática.

Adicionalmente se observa en la figura 5 el histograma asociado a la condición del control (encendido o apagado) tomando en este solo los datos desde la implementación del control en automático, en esta figura se observa cómo cambia la concentración y la forma de la campana generada por los datos en función del estado del control.

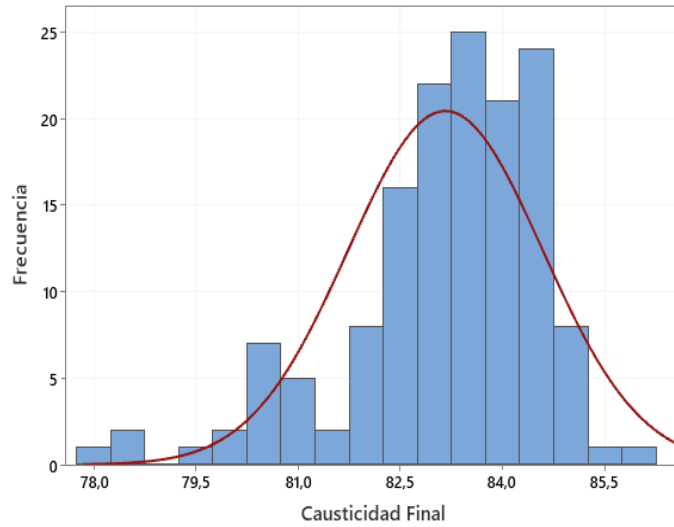


Figura 3: Histograma variable causticidad periodo base (Fuente: Elaboración propia)

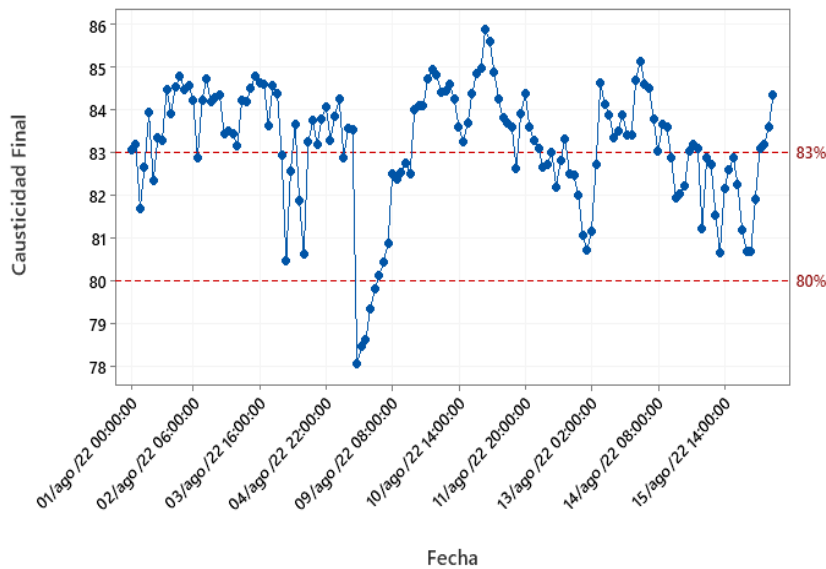


Figura 4: Gráficos de series de tiempo causticidad (Fuente: Elaboración propia)

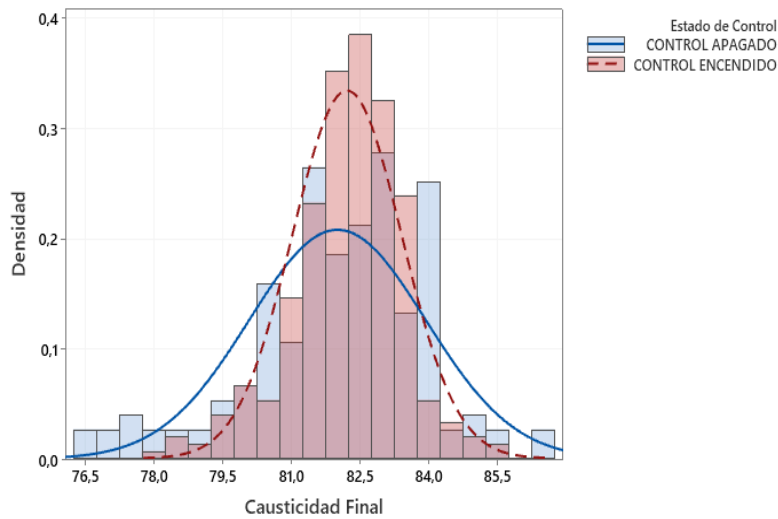


Figura 5: Histograma variable causticidad implementado control automático de causticidad en apagador de cal (Fuente: Elaboración propia)

Tabla I: Estadísticos control automático

Estadístico	Valor (ON)	Valor (OFF)
Media	82,23	82,01
Desviación estándar	1,19	1,92
Rango	7,24	9,71
Máximo	85,44	86,23
Mínimo	78,20	76,57

Consiguientemente se observa en la figura número 7 un histograma comparativo en donde se observa la concentración de datos y el contraste de estos para los 3 estados distintos de la operación de caustificación, es decir, operación en manual, control en estado encendido (ON) y control en estado apagado (OFF).

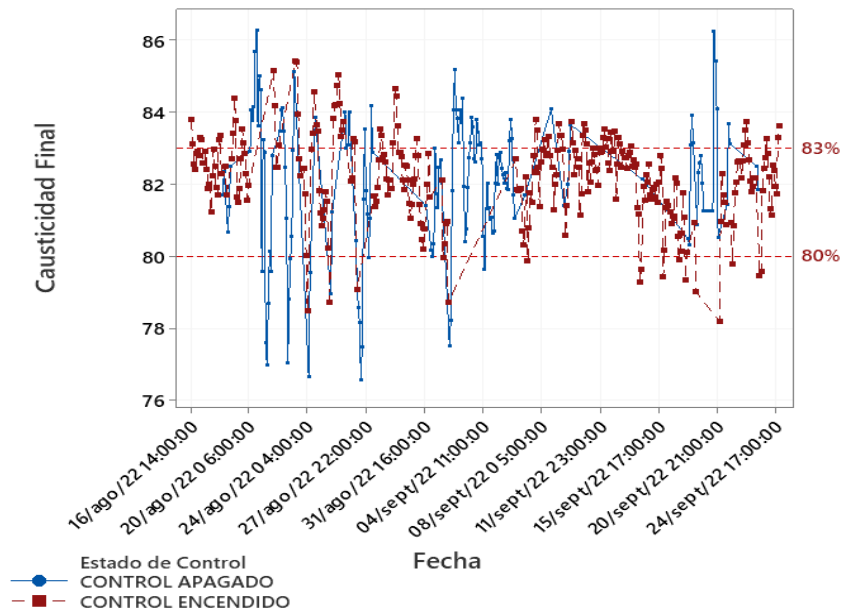


Figura 6: Gráficos de series de tiempo causticidad implementado control automático de causticidad en apagador de cal (Fuente: Elaboración propia)

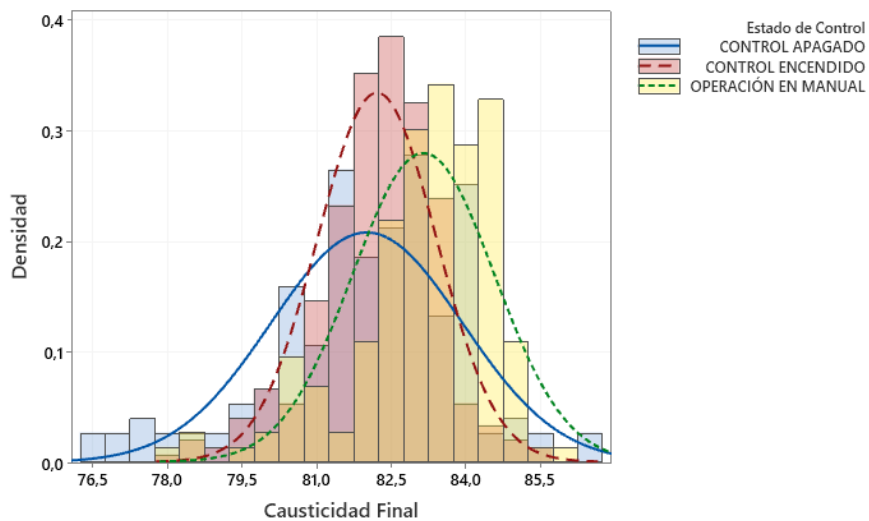


Figura 7: Histograma variable causticidad en operación manual, y estado encendido y apagado del control automático de causticidad en apagador de cal (Fuente: Elaboración propia)

A continuación como se observa en la figura 8 para corroborar la diferencia estadística entre las muestras obtenidas en ambos periodos de tiempo se realiza un análisis de normalidad (95% de confianza) en ambas muestras de interés, es decir, datos controlados de forma manual y datos controlados de forma automática, en donde se observa que los datos (en ambos casos) no presentan un comportamiento normal.

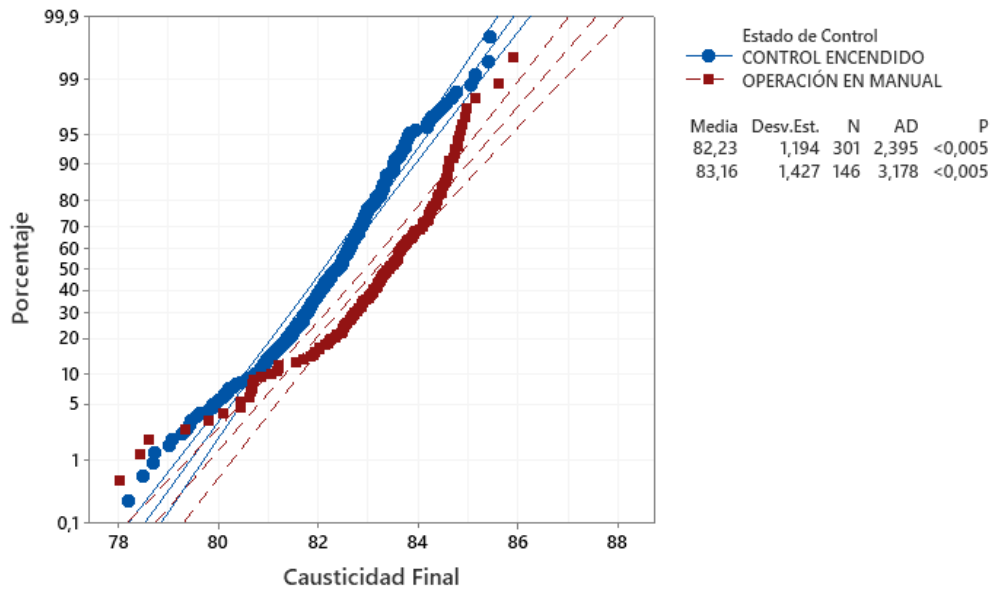


Figura 8: Análisis de normalidad para datos asociados a operación manual y control encendido al 95% de confianza (Fuente: Elaboración propia)

Finalmente en la figura 9 y figura 10 se observa que para determinar la diferencia significaba entre las muestras y al tratarse de muestras que no siguen una distribución normal, se utiliza la inferencia estadística (no paramétrica) en particular la prueba de mediana de Mood y la prueba de Kruskal-Wallis en donde se observa que las muestras (en particular las medianas) no pueden ser consideradas estadísticamente iguales.

Prueba

Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales
 Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

GL	Valor H	Valor p
1	63,20	0,000

Figura 9: Resultado de prueba de mediana de Mood para datos asociados a operación manual y control encendido al 95% de confianza (Fuente: Elaboración propia)

Prueba

Hipótesis nula H₀: Las medianas de población son todas iguales
Hipótesis alterna H₁: Las medianas de población no son todas iguales

GL	Chi-cuadrada	Valor p
1	44,75	0,000

Figura 10: Resultado de prueba de Kruskal-Wallis para datos asociados a operación manual y control encendido al 95% de confianza (Fuente: Elaboración propia)

2.5 Discusión de resultados

Considerando los resultados presentados, es posible visualizar que la causticidad controlada se encuentra por sobre el rango objetivo buscado por la planta de pulpa de celulosa chilena (entre 80% y 83%) gran parte del tiempo seleccionado como línea base en el cual la operación se encuentra en manual y sin la implementación del control (primer periodo), esto se observa tanto en la gráfica de dispersión de datos en donde se determina que la causticidad pasa gran parte del tiempo cerca del límite superior moviéndose la mayor parte del tiempo alrededor del 83% (ver figura 3).

Adicionalmente se observa que esta posee una media de 83,16% desviación estándar de 1,43% (ver tabla I), es decir que durante la operación se busca operar de manera muy cercana a la cota superior del rango de control, la variabilidad de la eficiencia de caustificación es tal que no se logra llegar al rango definido y genera que la mayoría de los datos se encuentren sobre del límite determinado. Estos periodos de tiempo fuera del objetivo y de acuerdo con lo revisado en la literatura (Hart, Hanson III y Manning, 2021) generan conflicto con otras áreas dentro del proceso, ya sea por encontrar sobre el rango superior (horno de cal y caustificación por overliming).

Posteriormente al analizar los datos, una vez realizada la implementación del lazo de control, y diferenciando el estatus del mismo se observa que al tener el control en modo automático se logra alcanzar una media de 82,23% de eficiencia de caustificación y la desviación estándar disminuye a 1,19%, este resultado es esperable de acuerdo a lo planteado en "Study Case: Optimization of recausticizing plant in a Brazilian pulp mill" (Costa, Pimenta y Figueiredo, 2010), en donde el estudio de la implementación de un control automática busca resultados en la dirección de los mostrados en el presente artículo.

De igual forma se debe notar que al pasar el control nuevamente a manual la variabilidad respecto al periodo base aumenta su variabilidad a 1,92% a pesar de que su estadístico de media se encuentra dentro de rango 82,01%. Adicionalmente en la figura 6 se determina que al tener el control encendido los datos se concentran dentro del rango de control, sin embargo, al estar apagado el controlador, los datos adoptan una mayor variabilidad, como ya se ha demostrado gráficamente.

Asimismo se observa en la figura 7 un cambio importante, en donde se encuentran concentrados los datos en comparación entre el periodo base (sin implementación del control) en contraste la estrategia de control operando en el proceso (ya sea en estado encendido o apagado). Sin estrategia de control implementada, los datos se encontraban en su mayoría sesgados, por sobre 83%, al implementar el control la campana cambia de zona con una media que entra en rango correcto de operación, y al encender el control se genera que los datos se encuentren con mayor frecuencia dentro de este.

Finalmente se observa que los datos tratadas no presentan un comportamiento normal caso similar al presentado en “Analysis of Surface Electromyography Signals of the Arm in Adults” (Colón, 2020) (figura 8), por lo tanto para corroborar la diferencia estadística entre los datos obtenidos, se utilizan pruebas no paramétricas como la mediana de Mood y la prueba de Kruskal-Wallis, en las cuales se determina que las muestras (medianas) no pueden ser considerados iguales con un intervalo de confianza del 95% (figura 9 y 10).

De esta manera y habiendo realizado la implementación de un lazo de control en el apagador que logre operar el proceso de manera automática, se aprecia una disminución en la variabilidad de la variable de eficiencia de caustificación, esto sobre la base de una lógica de control implementada en la cual genera variaciones de la velocidad del tornillo dosificador de cal, para mantener una diferencia de temperatura entre el apagador y la temperatura de licor verde constante. Lo anterior en el contexto en que, el sistema debe mantener una diferencia de temperatura constante en función de una determinada causticidad, es decir, si se observan causticidades bajo el “set point” deseado el sistema buscará una mayor o una menor diferencia de temperatura en función del objetivo que posee como referencia de operación.

3 ARTÍCULO

El presente apartado, recoge la investigación contextualizada motivo de este proyecto de grado, y es presentada en formato de artículo académico. Se trata de un artículo conciso, escrito en el formato típico de revistas especializadas o de conferencias, de acuerdo con reglas específicas definidas por la dirección del programa.

El artículo, ha sido cuidadosamente redactado con el fin de que se haga fácilmente entendible y logre expresar de un modo claro y sintético lo que se pretende comunicar, considerando las citas y referencias respectivas de los estudios que lo fundamentan. El trabajo realizado, se sintetiza entonces como artículo, para facilitar al trabajo de quienes puedan estar interesados en consultar la obra original.

Este trabajo, considera y discute, a través de un proyecto aplicado, desarrollado en un contexto de realidad profesional, la integración de herramientas y conocimientos que se han adquirido en las líneas de desarrollo del programa. Lo que se consolida en una investigación profesional contextualizada a la realidad profesional que se expone, la que se relacionada con líneas y ámbitos específicos abordados en el plan de estudios del programa, permitiendo integrar, de manera adecuada, los conocimientos teóricos y metodológicos desarrollados en él.

ESTRATEGIA DE CONTROL EN EL ÁREA DE CAUSTIFICACIÓN, CASO DE ESTUDIO PLANTA DE PULPA DE CELULOSA CHILENA: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

Felipe Irrarrazabal Durán

Graduado del programa de Magister en Ingeniería Industrial y de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Desarrollo, firarrazabald@udd.com

Resumen:

Este trabajo presenta la implementación realizada a través de una estrategia de control automático de sistemas, utilizada en el proceso de caustificación de una planta de pulpa de celulosa chilena, en el contexto de obtener mejoras en el control de la operación y una disminución la variabilidad dentro del mismo. El objetivo de este trabajo es implementar un sistema de control sobre variables continuas de proceso, para pasar de un modo de control manual a automático manteniendo rangos de control aceptables en la causticidad y disminuyendo la variabilidad dentro de la operación. Para lograrlo se estudia la forma de control actual y la estabilidad entregada por el mismo, a través de un análisis estadístico que refleje el desempeño del área y que en base a la implementación de un sistema de control PID pase desde un control manual existente a uno automático en base a experiencias obtenidas de la literatura para la implementación de la estrategia de control experimental en la industria. Los datos muestran que el proceso operado de forma manual tiene una media de 83,16% de eficiencia caustica, una desviación estándar de 1,43%, se observa que una vez implementado el control automático la media disminuye a 82,23% y la desviación estándar disminuye a 1,19%. Se concluye dada la evidencia estadística que una vez implementado el control de operación en automático el proceso logra entrar en el rango definido a como media y disminuir si variabilidad medida a través de la desviación estándar.

Palabras clave: Chemical recovery, pulp mill, slaker, green liquor, process control

1. Introducción

En la industria de celulosa, específicamente el proceso de caustificación recupera el licor blanco desde los productos inorgánicos originados en la caldera recuperadora y el horno de cal. El proceso posee una importancia clave para el proceso de producción de pulpa de celulosa, dado que la viabilidad y estabilidad de una planta dependen de la capacidad instalada del sistema de caustificación para convertir carbonato de sodio en hidróxido de sodio y de esta forma proveer licor blanco en una cantidad y calidad adecuada para el digestor (Green y Hough, 1998; Hart, Hanson III y Manning, 2021).

La cocción de la madera se realiza a través del licor blanco producido en el área de caustificación, de esta forma es importante que este posea una concentración de álcali activo (ecuación 1) o álcali efectivo (ecuación 2) adecuado y estable, en donde NaOH y Na₂S representan las concentraciones de hidróxido de sodio (soda caustica) y sulfuro de sodio respectivamente. La

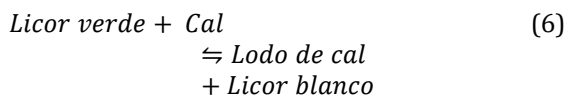
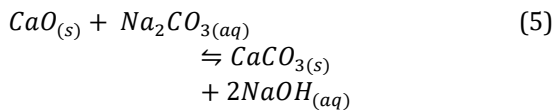
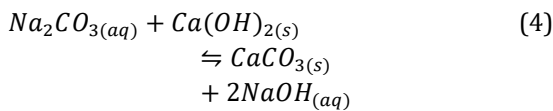
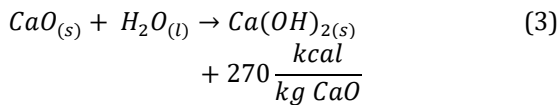
medida de estas concentraciones requeridas determinara la exigencia que se debe transmitir al área de caustificación (Sánchez, 2002; Hart, Hanson III y Manning, 2021).

$$\text{Álcali activo} = \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} \quad (1)$$

$$\text{Álcali efectivo} = \text{NaOH} + \frac{1}{2}\text{Na}_2\text{S} \quad (2)$$

La química de una planta de licor blanco puede ser descrita a través de dos reacciones, la reacción de apagado de cal (ecuación 3) y la reacción de caustificación (ecuación 4). La reacción de apagado es exotérmica y se lleva a cabo entre la cal viva (CaO) adicionada al proceso y el agua (H₂O) que se encuentra en el licor verde, obteniendo de esta forma hidróxido de calcio [Ca(OH)₂] más energía. Posteriormente la reacción de caustificación se genera entre el hidróxido de calcio de la ecuación 3 y el carbonato de sodio (Na₂CO₃) para obtener una mezcla entre carbonato de calcio (CaCO₃) e hidróxido de sodio (NaOH). Finalmente, la reacción global del proceso puede ser

escrita de una manera más simple (ecuación 5) como la sumatoria de ambas reacciones descritas anteriormente o en términos generales como la obtención de licor blanco a partir de licor verde y cal (ecuación 6), sin embargo, debe existir claridad de que esta sucede en dos pasos (Sanchez, 2002).



La reacción de caustificación al ser un equilibrio químico es reversible y por ende nunca alcanzará la

conversión completa del carbonato de sodio a hidróxido de sodio (Costa, Pimenta y Figueiredo, 2010). Usualmente solo un 80% del disponible en carbonato de sodio pasa a ser hidróxido de sodio en lo que se conoce como eficiencia de caustificación (Sánchez, 2002) (ecuación 7).

$$Eficiencia\ de\ caustificación = \frac{NaOH}{NaOH + Na_2CO_3} \times 100 \quad (7)$$

Estas reacciones se llevan a cabo en equipos del proceso, la primera de ellas en el apagador de cal (ecuación 3), el cual es un reactor que cuenta con sistemas de dosificación de cal viva, licor verde y un sistema de retiro de impurezas, adicionalmente se da inicio en el mismo equipo a la reacción de caustificación (ecuación 4), para posteriormente continuar en la batería de caustificación, los cuales son estanques en los que se busca aumentar el tiempo de residencia de la reacción (figura 1). Finalmente una vez recorrido este proceso el licor es retirado a la siguiente etapa determinando su calidad a través de la medición de laboratorio la cual entrega un valor de causticidad o eficiencia de caustificación (ecuación 7).

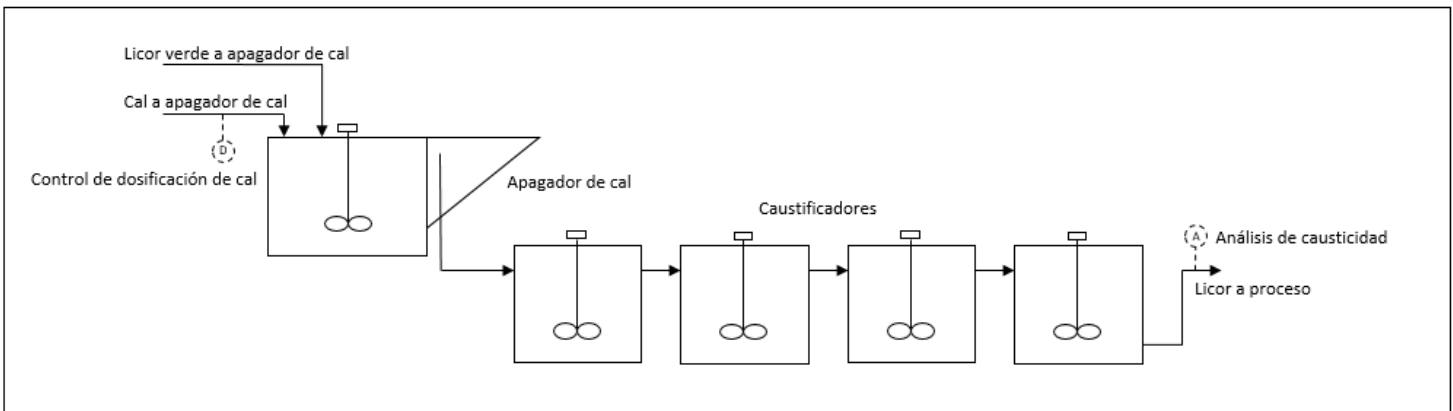


Figura 1: Proceso de caustificación desde apagador de cal hasta salida de licor a proceso (Fuente: Elaboración propia)

Eficiencia de caustificación, su efecto en el proceso de producción de licor blanco y pulpa de celulosa

Un descontrol en el área de caustificación y en particular en la variable resultante de la causticidad (o también conocida como eficiencia de caustificación) puede generar no solo problemas internos del manejo del área como tal, sino que también problemas globales en la producción de celulosa (Reid y Trung, 2013).

Al observar la ecuación 4 se puede interpretar que para obtener una mejor calidad en el licor blanco medida a

través del álcali activo o efectivo (ecuación 1 y 2) la reacción puede ser desplazada a la derecha si se adiciona más cal, sin embargo, esta práctica genera efectos adversos en el desempeño del proceso debido a la presencia de cal libre no reaccionante. Estos problemas son conocidos como 'overliming' y suele causar sellamiento de los filtros que realizan la separación sólido-líquido del carbonato de calcio y el hidróxido de sodio (ver ecuación 7), este sellamiento genera indisponibilidad del área con tiempos fuera de servicio que van desde 2 a 6 horas (Valmet, 2020), lo

que se puede evitar a través de una estrategia de control adecuada.

De esta forma se podría llevar la ecuación 4 a una zona de trabajo con un bajo contenido de cal libre para no tener problemas en la performance filtrante del área de caustificación. Sin embargo, una falta de óxido de calcio en la reacción llevaría a no conseguir los valores de álcali activo o efectivo (ecuación 1 y 2) para realización una buena cocción de la madera, lo que implica a su vez un aumento de rechazo de productos (o madera no cocida en la línea de fibra).

Así se establece un límite para la eficiencia de caustificación (usualmente cercana a un 80%) de forma tal que esta cal libre no genere un problema operacional mayor dentro del área, generando una banda en la cual se logra una eficiencia de caustificación lo suficientemente alta para generar una buena cocción de la madera, pero lo suficientemente baja para no generar problemas operacionales (Reid y Trung, 2013).

La eficiencia de proceso de caustificación o causticidad es afectada y controlada por una serie de factores tales como calidad y cantidad de cal alimentada, concentración y temperatura del licor verde, temperatura del apagador e intensidad de la reacción en el apagador de cal.

Métodos para una estabilización en la eficiencia de caustificación

La teoría señala que para obtener un control de la causticidad se requiere que los parámetros de entrada sean lo más estables posible. Se entiende como parámetros de entrada: la calidad del licor verde y la calidad de entrada de la cal, teniendo estos dos parámetros estables (como base) es posible controlar la estabilidad a través de las variables de operación, es decir, la temperatura del apagador, temperatura del licor verde y causticidad del proceso (variable de salida y de resultado).

El control tradicional de caustificación consiste en ajustar la dosificación de cal y/o la concentración del licor verde en función de los resultados de la causticidad en el último caustificador y su posterior envío a la siguiente unidad del proceso (etapa final de la reacción de caustificación). Al ser un proceso que tiene como mínimo una residencia de 3 a 4 horas (dependiendo de la cantidad de licor verde y el volumen disponible), al obtener el resultado los ajustes realizados en el inicio del proceso no logran otorgar estabilidad en la causticidad (ver figura 1).

En la industria de la celulosa y en partir las áreas de caustificación se han desarrollado diferentes tipos de métodos y/o tecnologías para dar solución a inestabilidad en el área de caustificación. La gama de soluciones es bastante amplia sin embargo este inciso se centrará en cuatro de ellas:

Control por diferencia de temperatura entre el licor verde y el apagador (delta), control por temperatura del apagador, control por conductividad y control avanzado utilizando la medición de composiciones (Hart, Hanson III y Manning, 2021).

Control por delta temperatura

El control tradicional por diferencia de temperatura controla la diferencia de temperatura existente entre el apagador de cal y el licor verde de entrada a este mismo, en base a este parámetro determina la dosificación o disminución de cal al proceso. Este tipo de estrategia de control consiste en determinar un set point (referencia) para este valor 'delta' y en función de este mismo el sistema realiza ajustes en la dosificación de cal buscando mantener este 'delta' constante. Al tratarse de una reacción exotérmica, que es la que se busca controlar, se puede decir, desde un enfoque experimental, que a medida que el sistema observa que esta diferencia es más baja que la solicitada el sistema adiciona más cal para otorgar mayor temperatura al sistema, y en la medida que alcanza más temperatura el sistema disminuye la dosificación de cal para retirar energía al sistema.

Entre las debilidades básicas de esta estrategia de control, es posible mencionar el que no toma en cuenta la calidad de la cal (y cambios que puedan existir en la misma) y/o la calidad y la temperatura del licor verde. Dicho así, siempre pueden existir descontroles en el parámetro final (eficiencia de caustificación) si no se posee un control adecuado o adicional en los parámetros de entrada (Hart, Hanson III y Manning, 2021).

Control por temperatura del apagador

El control por temperatura del apagador consiste, como estrategia de control, en mantener constante la temperatura de este sistema con la finalidad de obtener una causticidad deseada al final del proceso. A diferencia del control 'delta' este sistema genera variaciones en el control de la temperatura del licor verde en función de su calidad, que es determinada por su densidad, con la finalidad de mantener constante la temperatura del apagador, si la calidad y temperatura

del licor verde se mantienen constantes, entonces el sistema genera variaciones en la dosificación de cal para aumentar o disminuir la energía entregada por la misma al sistema (Gough, Meade, England y Kovac, 2007).

Control por conductividad

Este tipo de control busca correlacionar la variación en la concentración de soda caustica (NaOH) a lo largo del proceso, con la eficiencia de caustificación. Esto se logra a través de sondas censoras en diferentes puntos de proceso que determinan como aumenta la conductividad en el proceso, y en función de esta misma determinar la acción requerida sobre la dosificación de cal en el apagador (Hart, Hanson III y Manning, 2021).

Usualmente los problemas asociados a este tipo de estrategia de control se relacionan con que las sondas de medición tienden a fallar, ya sea por suciedad asociada a la operación del proceso, y a que son muy sensibles a la composición de los licores (verde y blanco). Adicionalmente este tipo de control no mide directamente la causticidad si no que es calculada a través de valores de conductividad, lo que provoca que el error aumente antes las fallas mencionadas anteriormente (Trung y Allison, 2015).

Control avanzado utilizando la medición de composiciones

Este tipo de control se ha vuelto más común en la búsqueda de la estabilización en las áreas de caustificación, consta de un sistema de toma de muestra en diferentes puntos del proceso que ayuda a determinar la concentración de las diferentes sales a lo largo del proceso de caustificación. En base a estas se determinan una serie de controles que supervisan la adición de cal en función de las causticidades obtenidas desde las muestras (Trung y Allison, 2015).

Finalmente se observa que existen diferentes formas para controlar el proceso de caustificación, centradas en el control del apagador para obtener una variable de salida estable (causticidad o eficiencia caustica). A pesar de que las posibles soluciones son variadas, la implementación o no de cada una de ellas dependerá de la realidad de la planta, esta debe considerar recursos, a nivel de personas y a nivel de inversión, particularidades de cada proceso, entre otras variables que pueden o no resultar fundamentales.

Entendida esta realidad, y considerando la revisión bibliográfica presentada, es posible efectuar el siguiente cuestionamiento de contexto: ¿Qué tipo de

control automático es posible desarrollar e implementar para la variable de causticidad de esta planta de pulpa de celulosa en particular?

En efecto, en la planta de pulpa de celulosa chilena no se dispone de un sistema de control, cuya estrategia automática permita un exitoso manejo de la variable causticidad, por lo que regularmente se opera en modo manual.

Habiendo recorrido las bases teóricas fundamentales para este estudio, cabe mencionar que la principal motivación para realizarlo ha sido el desarrollo de un control que otorgue estabilidad en el área de caustificación (planta de licor blanco) de esta planta de pulpa de celulosa chilena, cuyo modo de operación sea automático y no manual, dentro de rangos establecidos, brindando continuidad operativa tanto a esta área como a sus colindantes, a través del control de su variable más importante: la causticidad o eficiencia de caustificación. Se propone e implementa entonces un sistema de control adecuado y ajustado a la necesidad del proceso de planta de licor blanco, generando una menor variabilidad en el parámetro de salida del sistema determinado como causticidad y mejorando la operación del proceso en su conjunto. En este sentido, este trabajo contribuye a la continuidad operativa de procesos continuos de la industria de celulosa, a través del control de variables que aportan confiabilidad a un área que se interrelaciona con grandes áreas del proceso de producción de celulosa. Entendiendo que, una adecuada estrategia de control de procesos industriales, que se estable, aporta a la estabilización y mejoras de las operaciones de la planta de pulpa de celulosa transversalmente.

Entendido esto el objetivo de este trabajo es implementar un sistema de control sobre variables continuas, que aporten al control y la estabilidad del proceso buscando controlar la eficiencia de caustificación en la salida del proceso y de esta forma pasar de modo manual a automático manteniéndose en rangos de control aceptables para la continuidad del proceso.

2. Metodología

El estudio se efectuó en una compañía productora de papeles y cartones. Esta es una compañía global, con 100 años de historia que entrega soluciones sostenibles a sus clientes y consumidores. Su quehacer es la producción y comercialización de madera, celulosa, productos de embalaje, productos sanitarios, de fuera del hogar y de papel tissue. Estos satisfacen necesidades de personas, destacando su calidad, competitividad, y elaboración a base de recursos totalmente renovables. Actualmente esta compañía cuenta con 20.000 trabajadores directos y cuenta con presencia en 11 países a nivel comercial e industrial.

En particular el foco de negocio de su filial "Pulp" se encuentra asociado a la producción de celulosa kraft blanqueada, la cual produce pulpa de celulosa tanto de fibra larga de pino radiata como de fibra corta, de eucalipto. Ambas elaboradas a partir de madera proveniente de bosques cultivados, lo cual garantiza una pulpa con propiedades físicas y mecánicas consistentes y estables. Sus cuatro plantas –tres de ellas ubicadas en Chile, además de una ubicada en Brasil– tienen una capacidad de producción de 4,2 millones de toneladas de celulosa anuales. Sus principales productos son: celulosa kraft blanca de pino radiata (BSKP), papel sack kraft, celulosa kraft no blanqueada (UKP), celulosa kraft blanca de eucalipto (BEKP) y P&W.

En este contexto, para implementar un sistema de control para la causticidad a través de variables continuas del proceso de caustificación se ha optado por la utilización de una metodología cuantitativa basada en el desarrollo y la implementación de un lazo de control que permite controlar de forma automática la eficiencia de caustificación en la planta de licor blanco (Restrepo et al, 2009).

El estudio consideró un periodo desde 01/08/2022 hasta el 16/08/2022 para la realización del análisis del comportamiento de causticidad en el proceso previo a la implementación de una estrategia de control de procesos (línea base). Posteriormente una vez diseñado, sintonizado e implementado el lazo de control, es decir, a partir del día 16/08/2022 hasta el día 24/09/2022, los datos asociados a la causticidad del proceso de la planta de licor blanco son discretos y son muestreados y analizados en un laboratorio de terreno con una frecuencia mínima de dos horas.

Para el sustento teórico de la estrategia e implementación de un lazo de control PID, se efectuaron análisis de implementaciones publicadas en revista de corriente principal considerando conceptos como: recaustizing control, slaker control, white liquor plant control, pulp mill process control y chemical recovery.

Esto permite establecer que, cada una de las soluciones entregadas a procesos específicos varía en función de su propia realidad a nivel operacional y a nivel de recursos de cada una de las fábricas de celulosa y en particular de cada una de las plantas de generación de licor blanco (Restrepo et al, 2009).

Los datos de interés son obtenidos a través de plataformas de acceso propias de la compañía y pertenecientes a la planta de pulpa de celulosa chilena, que permiten realizar el levantamiento de estos datos a través de Excel, de esta forma es posible realizar descarga de datos por cada análisis realizado de variables discretas (causticidad) y el valor existente para las variables continuas en un determinado instante de tiempo (temperaturas y diferencia de temperaturas). Una vez descargados son analizados a través de la herramienta Minitab (Khan, 2013).

Para efectuar el análisis de los datos se determinó el comportamiento estadístico de la variable eficiencia de caustificación para determinar la línea base en el periodo de tiempo comprendido entre 01/08/2022 hasta el 16/08/2022, con base en lo propuesto en (Costa, Pimenta y Figueiredo, 2010). Trabajo en el que a través de un gráfico que muestra la dispersión de los datos de causticidad por un determinado periodo de tiempo se contrasta con el valor objetivo deseado por planta, adicionalmente a través de este conjunto de datos y con la finalidad de generar un análisis acabado de los datos se determinan los siguientes estadísticos de datos a través del programa Minitab: media, desviación estándar, rango, mínimo y máximo.

Una vez implementada la lógica de control, es decir, a partir del día 16/08/2022 hasta el día 24/09/2022 se toman datos diferenciando estado del control implantado entre encendido (ON) y apagado (OFF) y se realiza un gráfico de dispersión para observar el número comportamiento de la variable, determinando de igual manera los estadísticos descritos en el párrafo anterior.

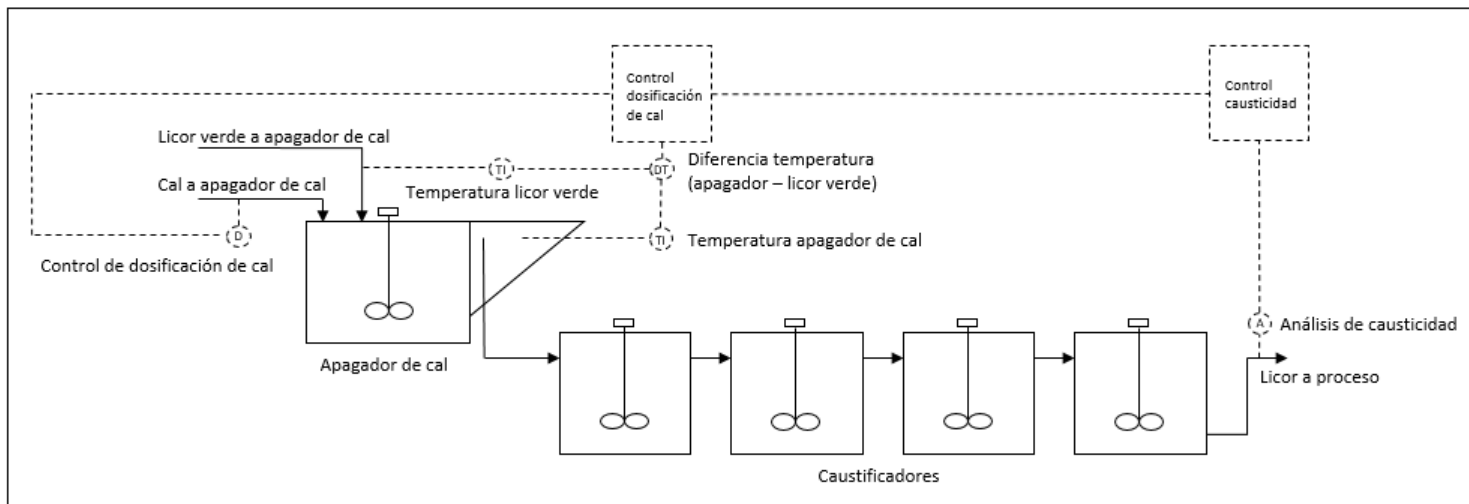


Figura 2: Estrategia de control de causticidad en modo automático (Fuente: Elaboración propia)

Posteriormente dado que los datos obtenidos se encuentran en periodos de tiempo distintos y representan un antes y un después en la forma de controlar (y operar el proceso), se determina que su diferencia estadística sea significativa inicialmente a través de una prueba de normalidad de los datos obtenidos. Consecuentemente y acorde a los resultados de la prueba de normalidad a través de estadística inferencial se determina si existe diferencia significativa o no entre las muestras, a través de test no paramétricos, tales como la prueba de mediana de Mood y la prueba de Kruskal-Wallis (Colón, 2020).

Implementación de un control automático: La estrategia de control en automático consiste en un sistema que controla la dosificación de cal hacia el apagador, para su posterior reacción con el licor verde a través de una estabilidad en la diferencia de temperatura entre el apagador de cal y el licor verde (ambas variables disponibles por transmisores de temperatura instaladas en el proceso actual).

El sistema de control, con base en un controlador PID, se sintoniza, buscando mantener esta diferencia de temperatura constante (entre la temperatura del apagador de cal y la temperatura del licor verde de entrada hacia el mismo), lo que genera cambios en la dosificación de cal. Posteriormente realiza cambios (ajustes finos de la sintonía del controlador) de existir una variación en la causticidad objetivo (su referencia).

Bajo este sistema el operador ingresa un “set point” de causticidad objetivo y el sistema se alimenta tanto de los valores ingresados por laboratorio (medidos cada

dos horas) y de las variables que se encuentran disponibles de forma continua (temperaturas y dosificación de cal), de existir diferencias entre la causticidad objetivo ingresada por el operador y la entregada por el laboratorio el sistema ajusta la dosificación de cal y genera variaciones en la diferencia de temperatura buscada. Aumentándola de buscar una mayor eficiencia de caustificación o disminuyéndola de buscar una menor causticidad. Al existir un tiempo de residencia (técnicamente un retardo) de alrededor de cuatro horas dentro del proceso, los cambios son realizados de forma sensible en el proceso (figura 2).

3. Resultados

A continuación, se presentan los resultados de la estrategia de control propuesta.

3.1 Análisis de datos

Inicialmente se realizó la determinación de los estadísticos básicos de la causticidad los cuales observan en la tabla I, estos son la media, desviación estándar, mínimo, máximo y rango en el periodo de tiempo comprendido entre el 01/08/2022 00.00 horas y el 16/08/2022 12.00 horas, adicionalmente la obtención de un histograma para observar la forma en la que se encuentran distribuidos los datos en este periodo, como se observa en la figura 3. Posteriormente, se observa gráfico temporal del comportamiento de la causticidad en donde se destaca con rojo el rango definido para la operación normal de la planta de licor blanco entre 80% y 83% de eficiencia de caustificación (figura 4).

Tabla I: Estadísticos periodo base

Estadístico	Valor
Media	83,16
Desviación estándar	1,43
Rango	7,86
Máximo	85,90
Mínimo	78,03

Posteriormente se procede a realizar un análisis equivalente al realizado en la línea base, pero una vez implementado el control automático en el apagador de cal. En este tiempo se diferencia el periodo en el cual el control se encontraba en estado encendido (ON) y en el cual se encontraba en estado apagado (OFF), estos datos se encuentran comprendidos desde el 16/08/2022 14.00 horas hasta el 14/09/2022 21.00 horas. Se observa en la tabla II los estadísticos básicos una vez implementado el control, considerando que en este periodo el control por momentos se encontraba en diferentes estados dependiendo de factores operacionales. De igual forma en la figura 6 se observa el gráfico de series de tiempo de esta misma implementación contrastando de igual manera el comportamiento respecto al rango definido por planta entre 80% y 83% para la eficiencia de caustificación, en ella se logra visualizar la diferencia gráfica entre la operación manual y la operación de forma automática.

Adicionalmente se observa en la figura 5 el histograma asociado a la condición del control (encendido o apagado) tomando en este solo los datos desde la implementación del control en automático, en esta figura se observa cómo cambia la concentración y la forma de la campana generada por los datos en función del estado del control.

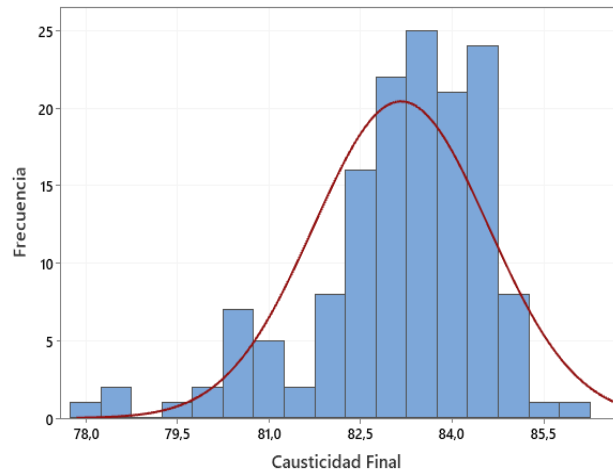


Figura 3: Histograma variable causticidad periodo base (Fuente: Elaboración propia)

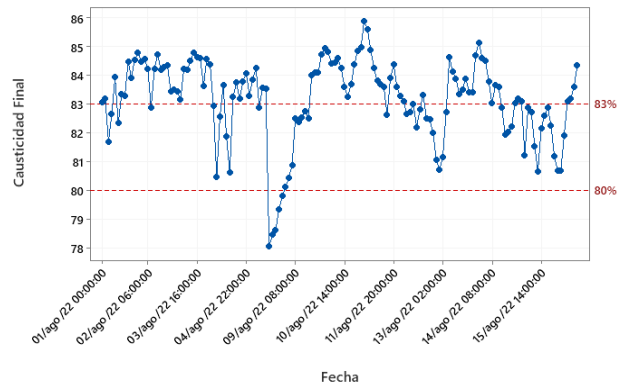


Figura 4: Gráficos de series de tiempo causticidad (Fuente: Elaboración propia)

Tabla I: Estadísticos control automático

Estadístico	Valor (ON)	Valor (OFF)
Media	82,23	82,01
Desviación estándar	1,19	1,92
Rango	7,24	9,71
Máximo	85,44	86,23
Mínimo	78,20	76,57

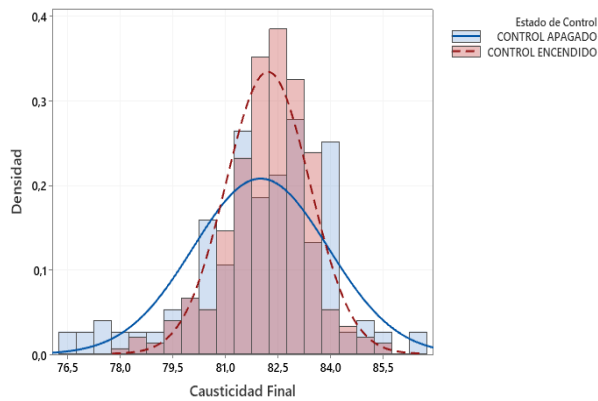


Figura 5: Histograma variable causticidad implementado control automático de causticidad en apagador de cal (Fuente: Elaboración propia)

Consiguientemente se observa en la figura número 7 un histograma comparativo en donde se observa la concentración de datos y el contraste de estos para los 3 estados distintos de la operación de caustificación, es decir, operación en manual, control en estado encendido (ON) y control en estado apagado (OFF).

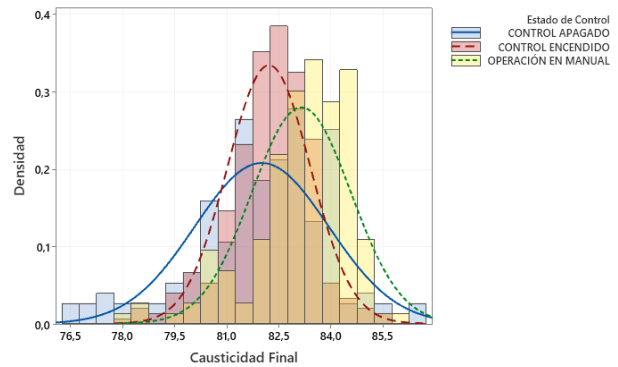


Figura 7: Histograma variable causticidad en operación manual, y estado encendido y apagado del control automático de causticidad en apagador de cal (Fuente: Elaboración propia)

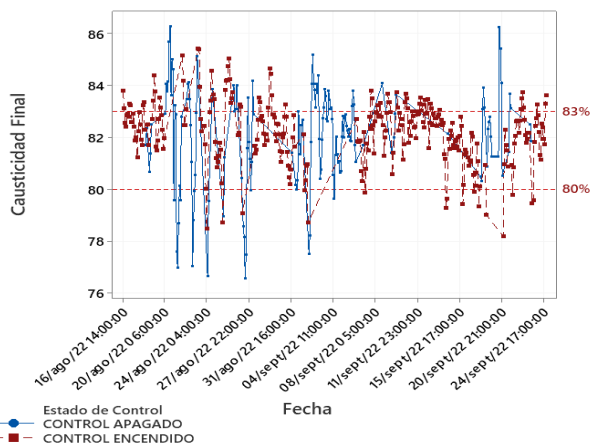


Figura 6: Gráficos de series de tiempo causticidad implementado control automático de causticidad en apagador de cal (Fuente: Elaboración propia)

A continuación como se observa en la figura 8 para corroborar la diferencia estadística entre las muestras obtenidas en ambos periodos de tiempo se realiza un análisis de normalidad (95% de confianza) en ambas muestras de interés, es decir, datos controlados de forma manual y datos controlados de forma automática, en donde se observa que los datos (en ambos casos) no presentan un comportamiento normal.

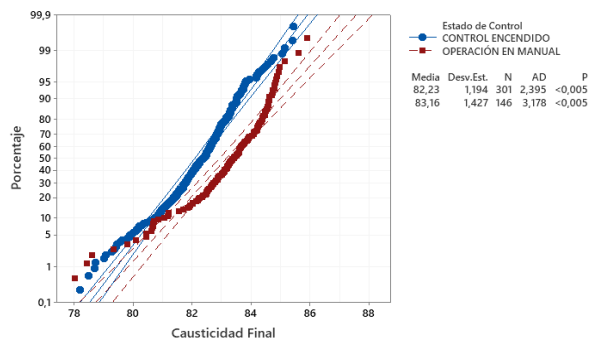


Figura 8: Análisis de normalidad para datos asociados a operación manual y control encendido al 95% de confianza (Fuente: Elaboración propia)

Finalmente en la figura 9 y figura 10 se observa que para determinar la diferencia significativa entre las muestras y al tratarse de muestras que no siguen una distribución normal, se utiliza la inferencia estadística (no paramétrica) en particular la prueba de mediana de Mood y la prueba de Kruskal-Wallis en donde se observa que las muestras (en particular las medianas) no pueden ser consideradas estadísticamente iguales.

Prueba

Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales
 Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

GL	Valor H	Valor p
1	63,20	0,000

Figura 9: Resultado de prueba de mediana de Mood para datos asociados a operación manual y control encendido al 95% de confianza (Fuente: Elaboración propia)

Prueba

Hipótesis nula H₀: Las medianas de población son todas iguales
Hipótesis alterna H₁: Las medianas de población no son todas iguales

GL	Chi-cuadrada	Valor p
1	44,75	0,000

Figura 10: Resultado de prueba de Kruskal-Wallis para datos asociados a operación manual y control encendido al 95% de confianza (Fuente: Elaboración propia)

3.2 Discusión de resultados

Considerando los resultados presentados, es posible visualizar que la causticidad controlada se encuentra por sobre el rango objetivo buscado por planta (entre 80% y 83%) gran parte del tiempo seleccionado como línea base en el cual la operación se encuentra en manual y sin la implementación del control (primer periodo), esto se observa tanto en la gráfica de dispersión de datos en donde se determina que la causticidad pasa gran parte del tiempo cerca del límite superior moviéndose la mayor parte del tiempo alrededor del 83% (ver figura 3).

Adicionalmente se observa que esta posee una media de 83,16% desviación estándar de 1,43% (ver tabla I), es decir que durante la operación se busca operar de manera muy cercana a la cota superior del rango de control, la variabilidad de la eficiencia de caustificación es tal que no se logra llegar al rango definido y genera que la mayoría de los datos se encuentren sobre del límite determinado. Estos periodos de tiempo fuera del objetivo y de acuerdo con lo revisado en la literatura (Hart, Hanson III y Manning, 2021) generan conflicto con otras áreas dentro del proceso, ya sea por encontrar sobre el rango superior (horno de cal y caustificación por overliming).

Posteriormente al analizar los datos, una vez realizada la implementación del lazo de control, y diferenciando el estatus del mismo se observa que al tener el control en modo automático se logra alcanzar una media de 82,23% de eficiencia de caustificación y la desviación estándar disminuye a 1,19%, este resultado es esperable de acuerdo a lo planteado en "Study Case: Optimization of recausticizing plant in a Brazilian pulp mill" (Costa, Pimenta y Figueiredo, 2010), en donde el estudio de la implementación de un control automática busca resultados en la dirección de los mostrados en el presente artículo.

De igual forma se debe notar que al pasar el control nuevamente a manual la variabilidad respecto al

periodo base aumenta su variabilidad a 1,92% a pesar de que su estadístico de media se encuentra dentro de rango 82,01%. Adicionalmente en la figura 6 se determina que al tener el control encendido los datos se concentran dentro del rango de control, sin embargo, al estar apagado el controlador, los datos adoptan una mayor variabilidad, como ya se ha demostrado gráficamente.

Asimismo se observa en la figura 7 un cambio importante, en donde se encuentran concentrados los datos en comparación entre el periodo base (sin implementación del control) en contraste la estrategia de control operando en el proceso (ya sea en estado encendido o apagado). Sin estrategia de control implementada, los datos se encontraban en su mayoría sesgados, por sobre 83%, al implementar el control la campana cambia de zona con una media que entra en rango correcto de operación, y al encender el control se genera que los datos se encuentren con mayor frecuencia dentro de este.

Finalmente se observa que los datos tratadas no presentan un comportamiento normal caso similar al presentado en "Analysis of Surface Electromyography Signals of the Arm in Adults" (Colón, 2020) (figura 8), por lo tanto para corroborar la diferencia estadística entre los datos obtenidos, se utilizan pruebas no paramétricas como la mediana de Mood y la prueba de Kruskal-Wallis, en las cuales se determina que las muestras (medianas) no pueden ser considerados iguales con un intervalo de confianza del 95% (figura 9 y 10).

De esta manera y habiendo realizado la implementación de un lazo de control en el apagador que logre operar el proceso de manera automática, se aprecia una disminución en la variabilidad de la variable de eficiencia de caustificación, esto sobre la base de una lógica de control implementada en la cual genera variaciones de la velocidad del tornillo dosificador de cal, para mantener una diferencia de temperatura entre el apagador y la temperatura de licor verde constante. Lo anterior en el contexto en que, el sistema debe mantener una diferencia de temperatura constante en función de una determinada causticidad, es decir, si se observan causticidades bajo el "set point" deseado el sistema buscará una mayor o una menor diferencia de temperatura en función del objetivo que posee como referencia de operación.

4. Conclusiones

En este trabajo se desarrolla e implementa una estrategia de control automático industrial para la variable de causticidad de una planta de pulpa de celulosa chilena. Con ello se ha aportado a la estabilidad del proceso, permitiendo el paso seguro y estable, desde una operación modo manual a una automática, manteniéndose en rangos de control aceptables definidos por la planta. Dicho rango de operación se establece permitiendo una oscilación de entre el 80% y el 83% de causticidad dentro de la planta de licor blanco en modo de operación bajo control. En efecto, los datos muestran que implementando el control y operando en modo automático se logra disminuir la media de la causticidad desde un 83,16% hasta un 82,23%, de la misma se disminuye la variabilidad medida, lo que queda de manifiesto a través de la desviación estándar que pasa desde un 1,43% a un 1,19%.

Dicho lo anterior, este trabajo contribuye a estabilización y control de un proceso industrial a través de la variable de causticidad que se encuentra operativo en una planta de producción de celulosa dentro de un ciclo de producción continuo.

Para continuar esta investigación se proponen las siguientes acciones futuras:

- Mejorar la sintonía del control del proceso para la disminución de la variabilidad actual, que ya ha sido mejorada.
- Implementar estrategias de control similares, cerrando lazos de control para otras variables que sean medidas de forma discreta y que posean criticidad para la continuidad del proceso productivo.

Referencias

Andrade, Vieira, Hallak y Freitas. (2010). *Advanced control implementation in the causticizing process of a pulp mill*. ResearchGate. 3-7.

Colón. (2020). *Analysis of Surface Electromyography Signals of the Arm in Adults*. Biomedical Engineering Program. 1-5.

Costa, Pimenta y Figueiredo. (2010). *Study Case: Optimization of recausticizing plant in a Brazilian pulp mill*. RecsearchGate. 2-7.

Giglio, Tran, Björk, Wadsborn, Lagimodiere y Dion. (2019). *Mill experience of calcium carbonate scale formation in Green liquor handling systems*. Tappi Peers. 4-7.

Gough, Meade, England y Kovac. (2007). *Model-based predictive adaptive control of pulp and paper mill processes*. Tappi Press, 1-12. Recuperado de <https://www.andritz.com/resource/blob/14762/8bdf2f00977164cfd1f2f2c24212e723/aa-automation-mpc-pulpandpaper-mills-data.pdf>

Hart, Hanson III y Manning. (2021). *Lime Kilns and Reausticizing: The Forgotten Part of a Kraft Mill*. Tappi Press, 575-580.

Khan. (2013). *Problem Solving and Data Analysis Using Minitab: A Clear and Easy Guide to Six Sigma Methodology*. Wiley. 20-59.

Rahman, Avelin y Kyprianidis. (2020). *A Review on the Modeling, Control and Diagnostics of Continuous Pulp Digesters*. Processes, 2020 (8), 4-5. doi:10.3390/pr8101231

Reid y Trung. (2013). *Optimization and Debottlenecking of the Reausticizing Process*. ResearchGate. 2-8.

Restrepo, Yuzak, Rodrigues, Affonso y Gedraite. (2009). *Considerações práticas acerca da aplicação de sistemas híbridos de controle avançado na indústria de celulose*. O Papel, 70 (12). 35-51.

Sanchez. (2008). *Reausticizing-principles and practice*. Tappi Press, 1-23. Recuperado de <https://www.tappi.org/content/events/08kros/manuscripts/2-1.pdf>

Trung y Allison. (2015). *Advanced online process analyzer for chemical recovery and mil control*. O Papel, 76 (1), 47.

Valmet. (2020). *Cooling, slaking and causticizing*. Valmet Espoo. 1. Recuperado de <https://www.valmet.com/pulp/chemical-recovery/white-liquor-plant/cooling-slaking-and-causticizing/?page=1>

4 CONCLUSIONES GENERALES

En este trabajo se desarrolla e implementa una estrategia de control automático industrial para la variable de causticidad de una planta de pulpa de celulosa chilena. Con ello se ha aportado a la estabilidad del proceso, permitiendo el paso seguro y estable, desde una operación modo manual a una automática, manteniéndose en rangos de control aceptables definidos por la planta. Dicho rango de operación se establece permitiendo una oscilación de entre el 80% y el 83% de causticidad dentro de la planta de licor blanco en modo de operación bajo control. En efecto, los datos muestran que implementando el control y operando en modo automático se logra disminuir la media de la causticidad desde un 83,16% hasta un 82,23%, de la misma se disminuye la variabilidad medida, lo que queda de manifiesto a través de la desviación estándar que pasa desde un 1,43% a un 1,19%.

También es importante considerar que:

Se analizó el comportamiento en un periodo determinado de tiempo de la variable causticidad en una planta de pulpa de celulosa chilena y forma de control actual, para ello se analizaron datos determinados como línea base en los cuales se terminaron estadísticos descriptivos, tales como la media y desviación estándar del proceso a través de su sistema de control de forma manual.

Se seleccionó un modelo que considere el método de control de la causticidad que se ajuste de mejor manera al comportamiento pasado de esta variable y a los recursos existentes dentro de la planta de licor blanco, esto se llevó a cabo a través de la implementación un control automático basado en el control de la diferencias de temperaturas (apagador de cal – licor verde de entrada).

Se comparó el desempeño del control automático implementado en función de la estrategia de control existente hoy en planta, a través de los estadísticos descriptivos determinados en la línea base (la media y desviación estándar) y posteriormente fueron validados a través de pruebas no paramétricas.

Dicho lo anterior, este trabajo contribuye a estabilización y control de un proceso industrial a través de la variable de causticidad que se encuentra operativo en una planta de producción de celulosa dentro de un ciclo de producción continuo.

4.1 Propuesta para trabajos futuros

Como continuación de este trabajo de tesis, hay varias líneas de desarrollo que quedan pendientes, y en las que es posible continuar trabajando; algunas de ellas, están más directamente relacionadas con este trabajo de tesis y son el resultado de preguntas que han ido surgiendo durante el proceso de investigación, como otras que son más tangenciales a la investigación. A continuación, revisaremos trabajos futuros que pueden investigarse como conclusión de esta investigación:

- Mejorar la sintonía del control del proceso para la disminución de la variabilidad actual, que ya ha sido mejorada.
- Implementar estrategias de control similares, cerrando lazos de control para otras variables que sean medidas de forma discreta y que posean criticidad para la continuidad del proceso productivo.
- Realizar una investigación de los otros actores importantes de la industria de la celulosa del país que cuenten con plantas de licor blanco dentro de su proceso productivo.

Es posible avanzar en cualquiera de estos temas, a través de co-guiar una nueva tesis del programa de Magíster en Ingeniería Industrial y de Sistemas de la Universidad del Desarrollo.

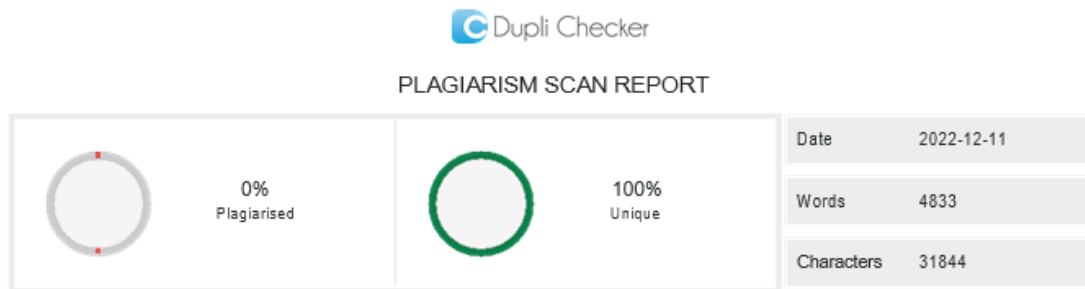
5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrade, Vieira, Hallak y Freitas. (2010). Advanced control implementation in the causticizing process of a pulp mill. ResearchGate. 3-7.
- Colón. (2020). Analysis of Surface Electromyography Signals of the Arm in Adults. Biomedical Engineering Program. 1-5.
- Costa, Pimenta y Figueiredo. (2010). Study Case: Optimization of recausticizing plant in a Brazilian pulp mill. ResearchGate. 2-7.
- Giglio, Tran, Björk, Wadsborn, Lagimodiere y Dion. (2019). Mill experience of calcium carbonate scale formation in Green liquor handling systems. Tappi Peers. 4-7.
- Gough, Meade, England y Kovac. (2007). Model-based predictive adaptive control of pulp and paper mill processes. Tappi Press, 1-12. Recuperado de <https://www.andritz.com/resource/blob/14762/8bdf2f00977164cfd1f2f2c24212e723/aa-automation-mpc-pulpandpaper-mills-data.pdf>
- Hart, Hanson III y Manning. (2021). Lime Kilns and Reausticizing: The Forgotten Part of a Kraft Mill. Tappi Press, 575-580.
- Khan. (2013). Problem Solving and Data Analysis Using Minitab: A Clear and Easy Guide to Six Sigma Methodology. Wiley. 20-59.
- Rahman, Avelin y Kyprianidis. (2020). A Review on the Modeling, Control and Diagnostics of Continuous Pulp Digesters. Processes, 2020 (8), 4-5. doi:10.3390/pr8101231
- Reid y Trung. (2013). Optimization and Debottlenecking of the Reausticizing Process. ResearchGate. 2-8.
- Restrepo, Yuzak, Rodrigues, Affonso y Gedraite. (2009). Considerações práticas acerca da aplicação de sistemas híbridos de controle avançado na indústria de celulose. O Papel, 70 (12). 35-51.

- Sanchez. (2008). Reausticizing-principles and practice. Tappi Press, 1-23.
Recuperado de
<https://www.tappi.org/content/events/08kros/manuscripts/2-1.pdf>
- Trung y Allison. (2015). Advanced online process analyzer for chemical recovery and
mil control. O Papel, 76 (1), 47.
- Valmet. (2020). Cooling, slaking and causticizing. Valmet Espoo. 1. Recuperado de
<https://www.valmet.com/pulp/chemical-recovery/white-liquor-plant/cooling-slaking-and-causticizing/?page=1>

6 ANEXO: REPORTE DE PLAGIO

El reporte de posibilidad de plagio de este trabajo, con otros trabajos publicados entrega un porcentaje de similitud de: 0%.



7 ANEXO: DATOS ASOCIADOS A VARIABLE CAUSTICIDAD

Fecha	Causticidad Final	Estado de Control
01-ago-22 00:00:00	83,07	OPERACIÓN EN MANUAL
01-ago-22 02:00:00	83,19	OPERACIÓN EN MANUAL
01-ago-22 04:00:00	81,69	OPERACIÓN EN MANUAL
01-ago-22 06:00:00	82,66	OPERACIÓN EN MANUAL
01-ago-22 08:00:00	83,93	OPERACIÓN EN MANUAL
01-ago-22 12:00:00	82,33	OPERACIÓN EN MANUAL
01-ago-22 14:00:00	83,35	OPERACIÓN EN MANUAL
01-ago-22 16:00:00	83,28	OPERACIÓN EN MANUAL
01-ago-22 18:00:00	84,47	OPERACIÓN EN MANUAL
01-ago-22 20:00:00	83,91	OPERACIÓN EN MANUAL
01-ago-22 22:00:00	84,54	OPERACIÓN EN MANUAL
02-ago-22 00:00:00	84,79	OPERACIÓN EN MANUAL
02-ago-22 02:00:00	84,46	OPERACIÓN EN MANUAL
02-ago-22 04:00:00	84,56	OPERACIÓN EN MANUAL
02-ago-22 06:00:00	84,21	OPERACIÓN EN MANUAL
02-ago-22 08:00:00	82,87	OPERACIÓN EN MANUAL
02-ago-22 10:00:00	84,22	OPERACIÓN EN MANUAL
02-ago-22 12:00:00	84,72	OPERACIÓN EN MANUAL
02-ago-22 14:00:00	84,19	OPERACIÓN EN MANUAL
02-ago-22 16:00:00	84,29	OPERACIÓN EN MANUAL
02-ago-22 18:00:00	84,34	OPERACIÓN EN MANUAL
02-ago-22 20:00:00	83,43	OPERACIÓN EN MANUAL
02-ago-22 22:00:00	83,51	OPERACIÓN EN MANUAL
03-ago-22 00:00:00	83,43	OPERACIÓN EN MANUAL
03-ago-22 02:00:00	83,14	OPERACIÓN EN MANUAL
03-ago-22 04:00:00	84,23	OPERACIÓN EN MANUAL
03-ago-22 06:00:00	84,19	OPERACIÓN EN MANUAL
03-ago-22 08:00:00	84,50	OPERACIÓN EN MANUAL
03-ago-22 10:00:00	84,77	OPERACIÓN EN MANUAL
03-ago-22 16:00:00	84,62	OPERACIÓN EN MANUAL
03-ago-22 18:00:00	84,60	OPERACIÓN EN MANUAL

03-ago-22 20:00:00	83,63	OPERACIÓN EN MANUAL
03-ago-22 22:00:00	84,57	OPERACIÓN EN MANUAL
04-ago-22 00:00:00	84,39	OPERACIÓN EN MANUAL
04-ago-22 02:00:00	82,94	OPERACIÓN EN MANUAL
04-ago-22 04:00:00	80,46	OPERACIÓN EN MANUAL
04-ago-22 06:00:00	82,55	OPERACIÓN EN MANUAL
04-ago-22 08:00:00	83,65	OPERACIÓN EN MANUAL
04-ago-22 10:00:00	81,85	OPERACIÓN EN MANUAL
04-ago-22 12:00:00	80,62	OPERACIÓN EN MANUAL
04-ago-22 14:00:00	83,24	OPERACIÓN EN MANUAL
04-ago-22 16:00:00	83,73	OPERACIÓN EN MANUAL
04-ago-22 18:00:00	83,20	OPERACIÓN EN MANUAL
04-ago-22 20:00:00	83,77	OPERACIÓN EN MANUAL
04-ago-22 22:00:00	84,08	OPERACIÓN EN MANUAL
05-ago-22 00:00:00	83,29	OPERACIÓN EN MANUAL
05-ago-22 02:00:00	83,84	OPERACIÓN EN MANUAL
05-ago-22 04:00:00	84,26	OPERACIÓN EN MANUAL
05-ago-22 06:00:00	82,87	OPERACIÓN EN MANUAL
05-ago-22 08:00:00	83,56	OPERACIÓN EN MANUAL
05-ago-22 10:00:00	83,54	OPERACIÓN EN MANUAL
08-ago-22 16:00:00	78,03	OPERACIÓN EN MANUAL
08-ago-22 18:00:00	78,44	OPERACIÓN EN MANUAL
08-ago-22 20:00:00	78,60	OPERACIÓN EN MANUAL
08-ago-22 22:00:00	79,33	OPERACIÓN EN MANUAL
09-ago-22 00:00:00	79,79	OPERACIÓN EN MANUAL
09-ago-22 02:00:00	80,10	OPERACIÓN EN MANUAL
09-ago-22 04:00:00	80,43	OPERACIÓN EN MANUAL
09-ago-22 06:00:00	80,86	OPERACIÓN EN MANUAL
09-ago-22 08:00:00	82,48	OPERACIÓN EN MANUAL
09-ago-22 10:00:00	82,36	OPERACIÓN EN MANUAL
09-ago-22 12:00:00	82,52	OPERACIÓN EN MANUAL
09-ago-22 14:00:00	82,76	OPERACIÓN EN MANUAL
09-ago-22 16:00:00	82,50	OPERACIÓN EN MANUAL
09-ago-22 18:00:00	84,01	OPERACIÓN EN MANUAL

09-ago-22 20:00:00	84,10	OPERACIÓN EN MANUAL
09-ago-22 22:00:00	84,09	OPERACIÓN EN MANUAL
10-ago-22 00:00:00	84,72	OPERACIÓN EN MANUAL
10-ago-22 02:00:00	84,93	OPERACIÓN EN MANUAL
10-ago-22 04:00:00	84,82	OPERACIÓN EN MANUAL
10-ago-22 06:00:00	84,41	OPERACIÓN EN MANUAL
10-ago-22 08:00:00	84,45	OPERACIÓN EN MANUAL
10-ago-22 10:00:00	84,59	OPERACIÓN EN MANUAL
10-ago-22 12:00:00	84,25	OPERACIÓN EN MANUAL
10-ago-22 14:00:00	83,58	OPERACIÓN EN MANUAL
10-ago-22 16:00:00	83,24	OPERACIÓN EN MANUAL
10-ago-22 18:00:00	83,67	OPERACIÓN EN MANUAL
10-ago-22 20:00:00	84,37	OPERACIÓN EN MANUAL
10-ago-22 22:00:00	84,84	OPERACIÓN EN MANUAL
11-ago-22 00:00:00	84,96	OPERACIÓN EN MANUAL
11-ago-22 02:00:00	85,89	OPERACIÓN EN MANUAL
11-ago-22 04:00:00	85,59	OPERACIÓN EN MANUAL
11-ago-22 06:00:00	84,87	OPERACIÓN EN MANUAL
11-ago-22 08:00:00	84,24	OPERACIÓN EN MANUAL
11-ago-22 10:00:00	83,80	OPERACIÓN EN MANUAL
11-ago-22 12:00:00	83,69	OPERACIÓN EN MANUAL
11-ago-22 14:00:00	83,58	OPERACIÓN EN MANUAL
11-ago-22 16:00:00	82,62	OPERACIÓN EN MANUAL
11-ago-22 18:00:00	83,91	OPERACIÓN EN MANUAL
11-ago-22 20:00:00	84,37	OPERACIÓN EN MANUAL
11-ago-22 22:00:00	83,60	OPERACIÓN EN MANUAL
12-ago-22 00:00:00	83,27	OPERACIÓN EN MANUAL
12-ago-22 02:00:00	83,10	OPERACIÓN EN MANUAL
12-ago-22 04:00:00	82,66	OPERACIÓN EN MANUAL
12-ago-22 06:00:00	82,70	OPERACIÓN EN MANUAL
12-ago-22 08:00:00	83,00	OPERACIÓN EN MANUAL
12-ago-22 10:00:00	82,19	OPERACIÓN EN MANUAL
12-ago-22 12:00:00	82,80	OPERACIÓN EN MANUAL
12-ago-22 14:00:00	83,32	OPERACIÓN EN MANUAL

12-ago-22 16:00:00	82,49	OPERACIÓN EN MANUAL
12-ago-22 18:00:00	82,45	OPERACIÓN EN MANUAL
12-ago-22 20:00:00	82,01	OPERACIÓN EN MANUAL
12-ago-22 22:00:00	81,06	OPERACIÓN EN MANUAL
13-ago-22 00:00:00	80,70	OPERACIÓN EN MANUAL
13-ago-22 02:00:00	81,16	OPERACIÓN EN MANUAL
13-ago-22 04:00:00	82,72	OPERACIÓN EN MANUAL
13-ago-22 06:00:00	84,62	OPERACIÓN EN MANUAL
13-ago-22 08:00:00	84,11	OPERACIÓN EN MANUAL
13-ago-22 10:00:00	83,87	OPERACIÓN EN MANUAL
13-ago-22 12:00:00	83,36	OPERACIÓN EN MANUAL
13-ago-22 14:00:00	83,51	OPERACIÓN EN MANUAL
13-ago-22 16:00:00	83,88	OPERACIÓN EN MANUAL
13-ago-22 18:00:00	83,41	OPERACIÓN EN MANUAL
13-ago-22 20:00:00	83,41	OPERACIÓN EN MANUAL
13-ago-22 22:00:00	84,70	OPERACIÓN EN MANUAL
14-ago-22 00:00:00	85,14	OPERACIÓN EN MANUAL
14-ago-22 02:00:00	84,58	OPERACIÓN EN MANUAL
14-ago-22 04:00:00	84,51	OPERACIÓN EN MANUAL
14-ago-22 06:00:00	83,77	OPERACIÓN EN MANUAL
14-ago-22 08:00:00	83,02	OPERACIÓN EN MANUAL
14-ago-22 10:00:00	83,64	OPERACIÓN EN MANUAL
14-ago-22 12:00:00	83,59	OPERACIÓN EN MANUAL
14-ago-22 14:00:00	82,88	OPERACIÓN EN MANUAL
14-ago-22 16:00:00	81,92	OPERACIÓN EN MANUAL
14-ago-22 18:00:00	82,03	OPERACIÓN EN MANUAL
14-ago-22 20:00:00	82,21	OPERACIÓN EN MANUAL
14-ago-22 22:00:00	83,04	OPERACIÓN EN MANUAL
15-ago-22 00:00:00	83,19	OPERACIÓN EN MANUAL
15-ago-22 02:00:00	83,08	OPERACIÓN EN MANUAL
15-ago-22 04:00:00	81,21	OPERACIÓN EN MANUAL
15-ago-22 06:00:00	82,89	OPERACIÓN EN MANUAL
15-ago-22 08:00:00	82,72	OPERACIÓN EN MANUAL
15-ago-22 10:00:00	81,54	OPERACIÓN EN MANUAL

15-ago-22 12:00:00	80,65	OPERACIÓN EN MANUAL
15-ago-22 14:00:00	82,14	OPERACIÓN EN MANUAL
15-ago-22 16:00:00	82,58	OPERACIÓN EN MANUAL
15-ago-22 18:00:00	82,86	OPERACIÓN EN MANUAL
15-ago-22 20:00:00	82,26	OPERACIÓN EN MANUAL
15-ago-22 22:00:00	81,19	OPERACIÓN EN MANUAL
16-ago-22 00:00:00	80,69	OPERACIÓN EN MANUAL
16-ago-22 02:00:00	80,67	OPERACIÓN EN MANUAL
16-ago-22 04:00:00	81,91	OPERACIÓN EN MANUAL
16-ago-22 06:00:00	83,10	OPERACIÓN EN MANUAL
16-ago-22 08:00:00	83,17	OPERACIÓN EN MANUAL
16-ago-22 10:00:00	83,59	OPERACIÓN EN MANUAL
16-ago-22 12:00:00	84,34	OPERACIÓN EN MANUAL
16-ago-22 14:00:00	83,79	CONTROL ENCENDIDO
16-ago-22 16:00:00	83,12	CONTROL ENCENDIDO
16-ago-22 18:00:00	82,55	CONTROL ENCENDIDO
16-ago-22 20:00:00	82,41	CONTROL ENCENDIDO
16-ago-22 22:00:00	82,85	CONTROL ENCENDIDO
17-ago-22 00:00:00	82,91	CONTROL ENCENDIDO
17-ago-22 02:00:00	82,79	CONTROL ENCENDIDO
17-ago-22 04:00:00	83,30	CONTROL ENCENDIDO
17-ago-22 06:00:00	83,23	CONTROL ENCENDIDO
17-ago-22 08:00:00	82,58	CONTROL ENCENDIDO
17-ago-22 10:00:00	82,60	CONTROL ENCENDIDO
17-ago-22 12:00:00	82,92	CONTROL ENCENDIDO
17-ago-22 14:00:00	82,40	CONTROL ENCENDIDO
17-ago-22 16:00:00	81,88	CONTROL ENCENDIDO
17-ago-22 18:00:00	82,01	CONTROL ENCENDIDO
17-ago-22 20:00:00	81,23	CONTROL ENCENDIDO
17-ago-22 22:00:00	82,24	CONTROL ENCENDIDO
18-ago-22 00:00:00	82,97	CONTROL ENCENDIDO
18-ago-22 02:00:00	82,49	CONTROL ENCENDIDO
18-ago-22 04:00:00	81,91	CONTROL ENCENDIDO
18-ago-22 06:00:00	81,70	CONTROL ENCENDIDO

18-ago-22 08:00:00	83,23	CONTROL ENCENDIDO
18-ago-22 10:00:00	83,34	CONTROL ENCENDIDO
18-ago-22 12:00:00	82,29	CONTROL ENCENDIDO
18-ago-22 14:00:00	81,70	CONTROL APAGADO
18-ago-22 16:00:00	82,36	CONTROL APAGADO
18-ago-22 18:00:00	82,50	CONTROL ENCENDIDO
18-ago-22 20:00:00	81,69	CONTROL ENCENDIDO
18-ago-22 22:00:00	80,68	CONTROL APAGADO
19-ago-22 00:00:00	81,38	CONTROL APAGADO
19-ago-22 02:00:00	82,51	CONTROL APAGADO
19-ago-22 04:00:00	82,70	CONTROL ENCENDIDO
19-ago-22 06:00:00	83,42	CONTROL ENCENDIDO
19-ago-22 08:00:00	84,39	CONTROL ENCENDIDO
19-ago-22 10:00:00	83,77	CONTROL ENCENDIDO
19-ago-22 12:00:00	81,64	CONTROL ENCENDIDO
19-ago-22 14:00:00	81,49	CONTROL ENCENDIDO
19-ago-22 16:00:00	81,88	CONTROL ENCENDIDO
19-ago-22 18:00:00	82,71	CONTROL ENCENDIDO
19-ago-22 20:00:00	83,55	CONTROL ENCENDIDO
19-ago-22 22:00:00	83,15	CONTROL ENCENDIDO
20-ago-22 00:00:00	82,84	CONTROL ENCENDIDO
20-ago-22 02:00:00	82,31	CONTROL ENCENDIDO
20-ago-22 04:00:00	81,56	CONTROL ENCENDIDO
20-ago-22 06:00:00	81,97	CONTROL ENCENDIDO
20-ago-22 08:00:00	82,90	CONTROL APAGADO
20-ago-22 10:00:00	84,06	CONTROL APAGADO
20-ago-22 12:00:00	83,78	CONTROL APAGADO
20-ago-22 14:00:00	84,15	CONTROL APAGADO
20-ago-22 16:00:00	85,70	CONTROL APAGADO
20-ago-22 18:00:00	86,28	CONTROL APAGADO
20-ago-22 20:00:00	83,61	CONTROL APAGADO
20-ago-22 22:00:00	85,02	CONTROL APAGADO
21-ago-22 00:00:00	84,61	CONTROL APAGADO
21-ago-22 02:00:00	79,57	CONTROL APAGADO

21-ago-22 04:00:00	83,24	CONTROL APAGADO
21-ago-22 06:00:00	82,89	CONTROL APAGADO
21-ago-22 08:00:00	77,59	CONTROL APAGADO
21-ago-22 10:00:00	76,96	CONTROL APAGADO
21-ago-22 12:00:00	78,69	CONTROL APAGADO
21-ago-22 14:00:00	80,12	CONTROL APAGADO
21-ago-22 16:00:00	79,58	CONTROL APAGADO
21-ago-22 18:00:00	82,80	CONTROL APAGADO
21-ago-22 20:00:00	85,15	CONTROL ENCENDIDO
21-ago-22 22:00:00	84,19	CONTROL ENCENDIDO
22-ago-22 00:00:00	82,48	CONTROL ENCENDIDO
22-ago-22 02:00:00	82,47	CONTROL ENCENDIDO
22-ago-22 04:00:00	83,09	CONTROL ENCENDIDO
22-ago-22 06:00:00	83,48	CONTROL APAGADO
22-ago-22 08:00:00	84,07	CONTROL APAGADO
22-ago-22 10:00:00	84,13	CONTROL APAGADO
22-ago-22 12:00:00	83,48	CONTROL APAGADO
22-ago-22 14:00:00	82,47	CONTROL APAGADO
22-ago-22 16:00:00	81,06	CONTROL APAGADO
22-ago-22 22:00:00	77,02	CONTROL APAGADO
23-ago-22 00:00:00	78,81	CONTROL APAGADO
23-ago-22 02:00:00	79,92	CONTROL APAGADO
23-ago-22 04:00:00	80,55	CONTROL APAGADO
23-ago-22 06:00:00	82,93	CONTROL APAGADO
23-ago-22 08:00:00	85,13	CONTROL APAGADO
23-ago-22 10:00:00	85,44	CONTROL ENCENDIDO
23-ago-22 12:00:00	85,41	CONTROL ENCENDIDO
23-ago-22 14:00:00	83,95	CONTROL ENCENDIDO
23-ago-22 16:00:00	82,70	CONTROL ENCENDIDO
23-ago-22 18:00:00	82,24	CONTROL ENCENDIDO
23-ago-22 20:00:00	82,44	CONTROL ENCENDIDO
23-ago-22 22:00:00	82,45	CONTROL ENCENDIDO
24-ago-22 00:00:00	81,74	CONTROL ENCENDIDO
24-ago-22 02:00:00	80,02	CONTROL ENCENDIDO

24-ago-22 04:00:00	78,48	CONTROL ENCENDIDO
24-ago-22 06:00:00	76,65	CONTROL APAGADO
24-ago-22 08:00:00	79,54	CONTROL APAGADO
24-ago-22 10:00:00	82,98	CONTROL ENCENDIDO
24-ago-22 12:00:00	83,40	CONTROL ENCENDIDO
24-ago-22 14:00:00	84,55	CONTROL ENCENDIDO
24-ago-22 16:00:00	83,86	CONTROL APAGADO
24-ago-22 18:00:00	83,66	CONTROL ENCENDIDO
24-ago-22 20:00:00	83,49	CONTROL ENCENDIDO
24-ago-22 22:00:00	81,82	CONTROL ENCENDIDO
25-ago-22 00:00:00	81,21	CONTROL ENCENDIDO
25-ago-22 02:00:00	80,86	CONTROL ENCENDIDO
25-ago-22 04:00:00	81,05	CONTROL ENCENDIDO
25-ago-22 06:00:00	81,30	CONTROL ENCENDIDO
25-ago-22 08:00:00	81,79	CONTROL ENCENDIDO
25-ago-22 10:00:00	81,51	CONTROL ENCENDIDO
25-ago-22 12:00:00	80,22	CONTROL ENCENDIDO
25-ago-22 14:00:00	78,71	CONTROL ENCENDIDO
25-ago-22 16:00:00	78,96	CONTROL APAGADO
25-ago-22 18:00:00	81,22	CONTROL APAGADO
25-ago-22 20:00:00	83,82	CONTROL ENCENDIDO
25-ago-22 22:00:00	84,17	CONTROL ENCENDIDO
26-ago-22 00:00:00	84,21	CONTROL ENCENDIDO
26-ago-22 02:00:00	84,75	CONTROL ENCENDIDO
26-ago-22 04:00:00	85,04	CONTROL ENCENDIDO
26-ago-22 06:00:00	84,25	CONTROL ENCENDIDO
26-ago-22 08:00:00	83,34	CONTROL ENCENDIDO
26-ago-22 10:00:00	83,50	CONTROL ENCENDIDO
26-ago-22 12:00:00	83,73	CONTROL ENCENDIDO
26-ago-22 14:00:00	84,00	CONTROL APAGADO
26-ago-22 16:00:00	83,01	CONTROL APAGADO
26-ago-22 18:00:00	83,10	CONTROL APAGADO
26-ago-22 20:00:00	84,01	CONTROL APAGADO
26-ago-22 22:00:00	82,07	CONTROL ENCENDIDO

27-ago-22 00:00:00	82,19	CONTROL ENCENDIDO
27-ago-22 02:00:00	83,26	CONTROL ENCENDIDO
27-ago-22 04:00:00	83,19	CONTROL ENCENDIDO
27-ago-22 06:00:00	80,44	CONTROL APAGADO
27-ago-22 08:00:00	79,06	CONTROL ENCENDIDO
27-ago-22 10:00:00	78,56	CONTROL APAGADO
27-ago-22 12:00:00	78,15	CONTROL APAGADO
27-ago-22 14:00:00	76,57	CONTROL APAGADO
27-ago-22 16:00:00	77,48	CONTROL APAGADO
27-ago-22 18:00:00	81,58	CONTROL APAGADO
27-ago-22 20:00:00	83,54	CONTROL APAGADO
27-ago-22 22:00:00	81,81	CONTROL APAGADO
28-ago-22 00:00:00	81,17	CONTROL APAGADO
28-ago-22 02:00:00	79,97	CONTROL APAGADO
28-ago-22 04:00:00	81,04	CONTROL APAGADO
28-ago-22 06:00:00	84,17	CONTROL APAGADO
28-ago-22 08:00:00	82,90	CONTROL APAGADO
28-ago-22 10:00:00	81,69	CONTROL ENCENDIDO
28-ago-22 12:00:00	81,36	CONTROL ENCENDIDO
28-ago-22 14:00:00	81,54	CONTROL ENCENDIDO
28-ago-22 16:00:00	81,89	CONTROL ENCENDIDO
28-ago-22 18:00:00	82,66	CONTROL ENCENDIDO
28-ago-22 20:00:00	83,54	CONTROL ENCENDIDO
28-ago-22 22:00:00	83,36	CONTROL ENCENDIDO
29-ago-22 00:00:00	82,73	CONTROL ENCENDIDO
29-ago-22 02:00:00	82,82	CONTROL ENCENDIDO
29-ago-22 04:00:00	82,62	CONTROL ENCENDIDO
29-ago-22 06:00:00	82,14	CONTROL ENCENDIDO
29-ago-22 08:00:00	81,71	CONTROL ENCENDIDO
29-ago-22 10:00:00	82,11	CONTROL ENCENDIDO
29-ago-22 12:00:00	82,12	CONTROL ENCENDIDO
29-ago-22 14:00:00	81,89	CONTROL ENCENDIDO
29-ago-22 16:00:00	83,15	CONTROL ENCENDIDO
29-ago-22 18:00:00	84,66	CONTROL ENCENDIDO

29-ago-22 20:00:00	84,46	CONTROL ENCENDIDO
29-ago-22 22:00:00	83,62	CONTROL ENCENDIDO
30-ago-22 00:00:00	82,89	CONTROL ENCENDIDO
30-ago-22 02:00:00	82,88	CONTROL ENCENDIDO
30-ago-22 04:00:00	82,77	CONTROL ENCENDIDO
30-ago-22 06:00:00	82,10	CONTROL ENCENDIDO
30-ago-22 08:00:00	81,85	CONTROL ENCENDIDO
30-ago-22 10:00:00	82,54	CONTROL ENCENDIDO
30-ago-22 12:00:00	82,49	CONTROL ENCENDIDO
30-ago-22 14:00:00	82,11	CONTROL ENCENDIDO
30-ago-22 16:00:00	81,45	CONTROL ENCENDIDO
30-ago-22 18:00:00	81,04	CONTROL ENCENDIDO
30-ago-22 20:00:00	81,45	CONTROL ENCENDIDO
30-ago-22 22:00:00	81,99	CONTROL ENCENDIDO
31-ago-22 00:00:00	82,15	CONTROL ENCENDIDO
31-ago-22 02:00:00	82,80	CONTROL ENCENDIDO
31-ago-22 04:00:00	83,26	CONTROL ENCENDIDO
31-ago-22 06:00:00	82,79	CONTROL ENCENDIDO
31-ago-22 08:00:00	81,44	CONTROL ENCENDIDO
31-ago-22 10:00:00	80,90	CONTROL ENCENDIDO
31-ago-22 12:00:00	80,45	CONTROL ENCENDIDO
31-ago-22 14:00:00	80,20	CONTROL ENCENDIDO
31-ago-22 16:00:00	80,74	CONTROL ENCENDIDO
31-ago-22 18:00:00	81,40	CONTROL APAGADO
31-ago-22 20:00:00	81,99	CONTROL ENCENDIDO
31-ago-22 22:00:00	82,86	CONTROL ENCENDIDO
01-sept-22 00:00:00	81,64	CONTROL ENCENDIDO
01-sept-22 02:00:00	80,18	CONTROL APAGADO
01-sept-22 04:00:00	79,98	CONTROL APAGADO
01-sept-22 06:00:00	80,35	CONTROL APAGADO
01-sept-22 08:00:00	82,99	CONTROL APAGADO
01-sept-22 10:00:00	81,74	CONTROL APAGADO
01-sept-22 12:00:00	81,34	CONTROL APAGADO
01-sept-22 14:00:00	82,48	CONTROL APAGADO

01-sept-22 16:00:00	82,68	CONTROL APAGADO
01-sept-22 18:00:00	82,12	CONTROL ENCENDIDO
01-sept-22 20:00:00	79,97	CONTROL ENCENDIDO
01-sept-22 22:00:00	80,34	CONTROL ENCENDIDO
02-sept-22 00:00:00	80,91	CONTROL ENCENDIDO
02-sept-22 02:00:00	80,98	CONTROL ENCENDIDO
02-sept-22 04:00:00	78,71	CONTROL ENCENDIDO
02-sept-22 06:00:00	77,50	CONTROL APAGADO
02-sept-22 08:00:00	78,21	CONTROL APAGADO
02-sept-22 10:00:00	81,81	CONTROL APAGADO
02-sept-22 12:00:00	84,06	CONTROL APAGADO
02-sept-22 14:00:00	85,18	CONTROL APAGADO
02-sept-22 16:00:00	84,06	CONTROL APAGADO
02-sept-22 18:00:00	83,82	CONTROL APAGADO
02-sept-22 20:00:00	83,16	CONTROL APAGADO
02-sept-22 22:00:00	84,07	CONTROL APAGADO
03-sept-22 00:00:00	83,70	CONTROL APAGADO
03-sept-22 02:00:00	84,39	CONTROL APAGADO
03-sept-22 04:00:00	81,93	CONTROL APAGADO
03-sept-22 06:00:00	80,41	CONTROL APAGADO
03-sept-22 08:00:00	80,75	CONTROL APAGADO
03-sept-22 10:00:00	81,92	CONTROL APAGADO
03-sept-22 12:00:00	82,75	CONTROL APAGADO
03-sept-22 14:00:00	83,16	CONTROL APAGADO
03-sept-22 16:00:00	83,85	CONTROL APAGADO
03-sept-22 18:00:00	83,59	CONTROL APAGADO
03-sept-22 20:00:00	82,70	CONTROL APAGADO
03-sept-22 22:00:00	82,60	CONTROL APAGADO
04-sept-22 01:00:00	83,79	CONTROL APAGADO
04-sept-22 03:00:00	83,44	CONTROL APAGADO
04-sept-22 05:00:00	83,09	CONTROL APAGADO
04-sept-22 07:00:00	83,15	CONTROL APAGADO
04-sept-22 09:00:00	82,70	CONTROL APAGADO
04-sept-22 11:00:00	80,56	CONTROL APAGADO

04-sept-22 13:00:00	79,64	CONTROL APAGADO
04-sept-22 15:00:00	81,32	CONTROL APAGADO
04-sept-22 17:00:00	82,02	CONTROL APAGADO
04-sept-22 19:00:00	81,34	CONTROL APAGADO
04-sept-22 21:00:00	81,01	CONTROL APAGADO
04-sept-22 23:00:00	81,08	CONTROL APAGADO
05-sept-22 01:00:00	80,63	CONTROL APAGADO
05-sept-22 03:00:00	80,71	CONTROL APAGADO
05-sept-22 05:00:00	82,04	CONTROL APAGADO
05-sept-22 07:00:00	82,83	CONTROL APAGADO
05-sept-22 09:00:00	82,01	CONTROL APAGADO
05-sept-22 11:00:00	82,72	CONTROL APAGADO
05-sept-22 13:00:00	82,89	CONTROL APAGADO
05-sept-22 15:00:00	82,44	CONTROL APAGADO
05-sept-22 17:00:00	82,27	CONTROL APAGADO
05-sept-22 19:00:00	82,03	CONTROL APAGADO
05-sept-22 21:00:00	82,33	CONTROL APAGADO
05-sept-22 23:00:00	81,87	CONTROL APAGADO
06-sept-22 01:00:00	81,85	CONTROL APAGADO
06-sept-22 03:00:00	83,22	CONTROL APAGADO
06-sept-22 05:00:00	83,79	CONTROL APAGADO
06-sept-22 07:00:00	83,28	CONTROL APAGADO
06-sept-22 09:00:00	81,69	CONTROL APAGADO
06-sept-22 11:00:00	81,06	CONTROL APAGADO
06-sept-22 13:00:00	82,70	CONTROL ENCENDIDO
06-sept-22 15:00:00	81,85	CONTROL ENCENDIDO
06-sept-22 17:00:00	81,82	CONTROL ENCENDIDO
06-sept-22 19:00:00	81,85	CONTROL ENCENDIDO
06-sept-22 21:00:00	81,88	CONTROL ENCENDIDO
06-sept-22 23:00:00	80,69	CONTROL ENCENDIDO
07-sept-22 01:00:00	80,30	CONTROL ENCENDIDO
07-sept-22 03:00:00	81,69	CONTROL APAGADO
07-sept-22 05:00:00	82,21	CONTROL ENCENDIDO
07-sept-22 07:00:00	79,88	CONTROL ENCENDIDO

07-sept-22 09:00:00	80,78	CONTROL ENCENDIDO
07-sept-22 11:00:00	81,76	CONTROL ENCENDIDO
07-sept-22 13:00:00	81,51	CONTROL ENCENDIDO
07-sept-22 15:00:00	82,81	CONTROL ENCENDIDO
07-sept-22 17:00:00	82,32	CONTROL ENCENDIDO
07-sept-22 19:00:00	83,81	CONTROL ENCENDIDO
07-sept-22 21:00:00	83,49	CONTROL ENCENDIDO
07-sept-22 23:00:00	82,48	CONTROL ENCENDIDO
08-sept-22 01:00:00	81,38	CONTROL ENCENDIDO
08-sept-22 03:00:00	82,62	CONTROL ENCENDIDO
08-sept-22 05:00:00	82,98	CONTROL ENCENDIDO
08-sept-22 07:00:00	82,93	CONTROL ENCENDIDO
08-sept-22 09:00:00	83,25	CONTROL ENCENDIDO
08-sept-22 11:00:00	82,80	CONTROL ENCENDIDO
08-sept-22 13:00:00	82,86	CONTROL ENCENDIDO
08-sept-22 15:00:00	83,34	CONTROL ENCENDIDO
08-sept-22 17:00:00	82,79	CONTROL ENCENDIDO
08-sept-22 19:00:00	84,08	CONTROL APAGADO
08-sept-22 21:00:00	82,47	CONTROL ENCENDIDO
08-sept-22 23:00:00	81,28	CONTROL ENCENDIDO
09-sept-22 01:00:00	82,01	CONTROL ENCENDIDO
09-sept-22 03:00:00	82,26	CONTROL ENCENDIDO
09-sept-22 05:00:00	82,94	CONTROL ENCENDIDO
09-sept-22 07:00:00	83,67	CONTROL ENCENDIDO
09-sept-22 09:00:00	83,35	CONTROL ENCENDIDO
09-sept-22 11:00:00	83,35	CONTROL ENCENDIDO
09-sept-22 13:00:00	82,97	CONTROL ENCENDIDO
09-sept-22 15:00:00	81,41	CONTROL APAGADO
09-sept-22 17:00:00	80,57	CONTROL ENCENDIDO
09-sept-22 19:00:00	81,42	CONTROL ENCENDIDO
09-sept-22 21:00:00	82,01	CONTROL APAGADO
09-sept-22 23:00:00	82,91	CONTROL APAGADO
10-sept-22 01:00:00	83,65	CONTROL APAGADO
10-sept-22 03:00:00	83,74	CONTROL ENCENDIDO

10-sept-22 05:00:00	83,14	CONTROL ENCENDIDO
10-sept-22 07:00:00	82,26	CONTROL ENCENDIDO
10-sept-22 09:00:00	82,95	CONTROL ENCENDIDO
10-sept-22 11:00:00	82,72	CONTROL ENCENDIDO
10-sept-22 13:00:00	82,46	CONTROL ENCENDIDO
10-sept-22 15:00:00	81,14	CONTROL ENCENDIDO
10-sept-22 17:00:00	81,74	CONTROL ENCENDIDO
10-sept-22 19:00:00	83,35	CONTROL ENCENDIDO
10-sept-22 21:00:00	83,69	CONTROL ENCENDIDO
10-sept-22 23:00:00	83,49	CONTROL ENCENDIDO
11-sept-22 01:00:00	83,13	CONTROL ENCENDIDO
11-sept-22 03:00:00	81,79	CONTROL ENCENDIDO
11-sept-22 05:00:00	82,59	CONTROL ENCENDIDO
11-sept-22 07:00:00	82,07	CONTROL ENCENDIDO
11-sept-22 09:00:00	82,61	CONTROL ENCENDIDO
11-sept-22 11:00:00	82,99	CONTROL ENCENDIDO
11-sept-22 13:00:00	82,84	CONTROL ENCENDIDO
11-sept-22 15:00:00	82,40	CONTROL ENCENDIDO
11-sept-22 17:00:00	82,40	CONTROL ENCENDIDO
11-sept-22 19:00:00	81,97	CONTROL ENCENDIDO
11-sept-22 21:00:00	83,00	CONTROL ENCENDIDO
11-sept-22 23:00:00	82,90	CONTROL ENCENDIDO
12-sept-22 01:00:00	82,92	CONTROL ENCENDIDO
12-sept-22 03:00:00	83,30	CONTROL ENCENDIDO
12-sept-22 05:00:00	83,53	CONTROL ENCENDIDO
12-sept-22 07:00:00	83,04	CONTROL ENCENDIDO
12-sept-22 09:00:00	83,26	CONTROL ENCENDIDO
12-sept-22 11:00:00	82,59	CONTROL ENCENDIDO
12-sept-22 13:00:00	82,38	CONTROL ENCENDIDO
12-sept-22 15:00:00	83,44	CONTROL ENCENDIDO
12-sept-22 17:00:00	82,91	CONTROL ENCENDIDO
12-sept-22 19:00:00	82,96	CONTROL ENCENDIDO
12-sept-22 21:00:00	83,46	CONTROL ENCENDIDO
12-sept-22 23:00:00	81,59	CONTROL ENCENDIDO

13-sept-22 01:00:00	82,57	CONTROL ENCENDIDO
13-sept-22 03:00:00	83,29	CONTROL ENCENDIDO
13-sept-22 05:00:00	83,12	CONTROL ENCENDIDO
13-sept-22 07:00:00	82,47	CONTROL ENCENDIDO
13-sept-22 09:00:00	82,92	CONTROL ENCENDIDO
13-sept-22 11:00:00	82,72	CONTROL ENCENDIDO
13-sept-22 13:00:00	82,73	CONTROL ENCENDIDO
13-sept-22 15:00:00	82,44	CONTROL ENCENDIDO
13-sept-22 17:00:00	82,81	CONTROL ENCENDIDO
13-sept-22 19:00:00	82,88	CONTROL ENCENDIDO
13-sept-22 21:00:00	83,07	CONTROL ENCENDIDO
13-sept-22 23:00:00	82,51	CONTROL ENCENDIDO
14-sept-22 01:00:00	82,68	CONTROL ENCENDIDO
14-sept-22 03:00:00	82,48	CONTROL ENCENDIDO
14-sept-22 05:00:00	82,56	CONTROL ENCENDIDO
14-sept-22 07:00:00	81,34	CONTROL ENCENDIDO
14-sept-22 09:00:00	81,18	CONTROL ENCENDIDO
14-sept-22 11:00:00	79,28	CONTROL ENCENDIDO
14-sept-22 13:00:00	79,64	CONTROL ENCENDIDO
14-sept-22 15:00:00	82,14	CONTROL APAGADO
14-sept-22 17:00:00	81,95	CONTROL ENCENDIDO
14-sept-22 19:00:00	81,55	CONTROL ENCENDIDO
14-sept-22 21:00:00	82,26	CONTROL ENCENDIDO
14-sept-22 23:00:00	82,05	CONTROL ENCENDIDO
15-sept-22 01:00:00	82,57	CONTROL ENCENDIDO
15-sept-22 03:00:00	81,69	CONTROL ENCENDIDO
15-sept-22 05:00:00	81,58	CONTROL ENCENDIDO
15-sept-22 07:00:00	81,84	CONTROL ENCENDIDO
15-sept-22 09:00:00	81,90	CONTROL ENCENDIDO
15-sept-22 11:00:00	81,64	CONTROL ENCENDIDO
15-sept-22 13:00:00	81,99	CONTROL ENCENDIDO
15-sept-22 15:00:00	81,49	CONTROL ENCENDIDO
15-sept-22 17:00:00	82,04	CONTROL ENCENDIDO
15-sept-22 19:00:00	82,78	CONTROL ENCENDIDO

15-sept-22 21:00:00	82,45	CONTROL ENCENDIDO
15-sept-22 23:00:00	79,44	CONTROL ENCENDIDO
16-sept-22 01:00:00	80,17	CONTROL ENCENDIDO
16-sept-22 03:00:00	81,35	CONTROL ENCENDIDO
16-sept-22 05:00:00	81,54	CONTROL ENCENDIDO
16-sept-22 07:00:00	81,39	CONTROL ENCENDIDO
16-sept-22 09:00:00	81,22	CONTROL ENCENDIDO
16-sept-22 11:00:00	80,92	CONTROL ENCENDIDO
16-sept-22 13:00:00	81,10	CONTROL ENCENDIDO
16-sept-22 15:00:00	81,05	CONTROL ENCENDIDO
16-sept-22 17:00:00	82,19	CONTROL ENCENDIDO
16-sept-22 19:00:00	82,02	CONTROL ENCENDIDO
16-sept-22 21:00:00	80,55	CONTROL ENCENDIDO
16-sept-22 23:00:00	79,90	CONTROL ENCENDIDO
17-sept-22 01:00:00	80,12	CONTROL ENCENDIDO
17-sept-22 03:00:00	80,63	CONTROL ENCENDIDO
17-sept-22 05:00:00	81,77	CONTROL ENCENDIDO
17-sept-22 07:00:00	81,09	CONTROL ENCENDIDO
17-sept-22 09:00:00	79,35	CONTROL ENCENDIDO
17-sept-22 11:00:00	80,10	CONTROL ENCENDIDO
17-sept-22 13:00:00	80,48	CONTROL APAGADO
17-sept-22 15:00:00	80,30	CONTROL APAGADO
17-sept-22 17:00:00	83,09	CONTROL APAGADO
17-sept-22 19:00:00	83,93	CONTROL APAGADO
17-sept-22 21:00:00	83,15	CONTROL APAGADO
17-sept-22 23:00:00	80,93	CONTROL ENCENDIDO
18-sept-22 01:00:00	79,01	CONTROL ENCENDIDO
18-sept-22 03:00:00	80,88	CONTROL APAGADO
18-sept-22 05:00:00	82,33	CONTROL APAGADO
18-sept-22 07:00:00	82,59	CONTROL APAGADO
18-sept-22 09:00:00	82,81	CONTROL APAGADO
18-sept-22 11:00:00	82,02	CONTROL APAGADO
18-sept-22 13:00:00	81,27	CONTROL APAGADO
18-sept-22 15:00:00	81,26	CONTROL APAGADO

18-sept-22 19:00:00	81,26	CONTROL APAGADO
19-sept-22 03:00:00	81,26	CONTROL APAGADO
19-sept-22 11:00:00	81,26	CONTROL APAGADO
19-sept-22 19:00:00	81,26	CONTROL APAGADO
20-sept-22 03:00:00	81,26	CONTROL APAGADO
20-sept-22 11:00:00	81,26	CONTROL APAGADO
20-sept-22 15:00:00	86,26	CONTROL APAGADO
20-sept-22 17:00:00	85,43	CONTROL APAGADO
20-sept-22 19:00:00	84,11	CONTROL APAGADO
20-sept-22 21:00:00	80,52	CONTROL APAGADO
20-sept-22 23:00:00	78,20	CONTROL ENCENDIDO
21-sept-22 01:00:00	80,97	CONTROL ENCENDIDO
21-sept-22 05:00:00	82,29	CONTROL ENCENDIDO
21-sept-22 07:00:00	81,69	CONTROL ENCENDIDO
21-sept-22 09:00:00	81,48	CONTROL ENCENDIDO
21-sept-22 11:00:00	80,86	CONTROL ENCENDIDO
21-sept-22 13:00:00	81,44	CONTROL APAGADO
21-sept-22 15:00:00	83,67	CONTROL APAGADO
21-sept-22 17:00:00	83,12	CONTROL APAGADO
21-sept-22 19:00:00	80,94	CONTROL ENCENDIDO
21-sept-22 21:00:00	79,79	CONTROL ENCENDIDO
21-sept-22 23:00:00	80,85	CONTROL ENCENDIDO
22-sept-22 01:00:00	81,77	CONTROL ENCENDIDO
22-sept-22 03:00:00	82,06	CONTROL ENCENDIDO
22-sept-22 05:00:00	82,63	CONTROL ENCENDIDO
22-sept-22 07:00:00	82,66	CONTROL ENCENDIDO
22-sept-22 09:00:00	82,63	CONTROL ENCENDIDO
22-sept-22 11:00:00	82,18	CONTROL ENCENDIDO
22-sept-22 13:00:00	82,66	CONTROL ENCENDIDO
22-sept-22 15:00:00	83,08	CONTROL ENCENDIDO
22-sept-22 17:00:00	83,49	CONTROL ENCENDIDO
22-sept-22 19:00:00	83,73	CONTROL ENCENDIDO
22-sept-22 21:00:00	83,15	CONTROL ENCENDIDO
22-sept-22 23:00:00	82,67	CONTROL ENCENDIDO

23-sept-22 01:00:00	82,09	CONTROL ENCENDIDO
23-sept-22 03:00:00	81,78	CONTROL ENCENDIDO
23-sept-22 05:00:00	81,95	CONTROL ENCENDIDO
23-sept-22 07:00:00	82,18	CONTROL ENCENDIDO
23-sept-22 09:00:00	82,18	CONTROL ENCENDIDO
23-sept-22 11:00:00	82,50	CONTROL APAGADO
23-sept-22 13:00:00	81,85	CONTROL APAGADO
23-sept-22 15:00:00	79,46	CONTROL ENCENDIDO
23-sept-22 17:00:00	79,58	CONTROL ENCENDIDO
23-sept-22 19:00:00	81,83	CONTROL ENCENDIDO
23-sept-22 21:00:00	82,44	CONTROL ENCENDIDO
23-sept-22 23:00:00	82,73	CONTROL ENCENDIDO
24-sept-22 01:00:00	83,27	CONTROL ENCENDIDO
24-sept-22 03:00:00	82,85	CONTROL ENCENDIDO
24-sept-22 05:00:00	82,22	CONTROL ENCENDIDO
24-sept-22 07:00:00	81,31	CONTROL ENCENDIDO
24-sept-22 09:00:00	81,13	CONTROL ENCENDIDO
24-sept-22 11:00:00	82,54	CONTROL ENCENDIDO
24-sept-22 13:00:00	82,37	CONTROL ENCENDIDO
24-sept-22 15:00:00	81,93	CONTROL ENCENDIDO
24-sept-22 17:00:00	81,74	CONTROL ENCENDIDO
24-sept-22 19:00:00	83,31	CONTROL ENCENDIDO
24-sept-22 21:00:00	83,62	CONTROL ENCENDIDO