

JUAN HUMBERTO MUÑOZ GUTIERREZ

**MODIFICACIÓN DE DIGESTORES RDH PARA MEJORAR LA
UNIFORMIDAD DE LA COCCIÓN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VICOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M967m
2011

Munoz Gutierrez, Juan Humberto, 1957-
Modificación de digestores RDH para mejorar la
uniformidad de la cocción / Juan Humberto Munoz Gutierrez.
– Viçosa, MG, 2011.
x, 47f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: José Lívio Gomide.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 47

1. Indústria de celulose. 2. Polpa de madeira.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.986

JUAN HUMBERTO MUÑOZ GUTIERREZ

**MODIFICACIÓN DE DIGESTORES RDH PARA MEJORAR LA
UNIFORMIDAD DE LA COCCIÓN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprobada: 19 de Julho de 2011

Prof. Luiz Cláudio de Almeida Barbosa

Teresa Cristina Fonseca da Silva

Prof. José Lívio Gomide
(Orientador)

AGRADECIMIENTOS

Especiales agradecimientos entrego a todos aquellos que de una u otra forma ayudaron a concretar este proyecto de estudios, especial atención para el profesor José Lívio Comide de la Universidade Federal de Viçosa, por sus recomendaciones para mejorar la presentación de los conocimientos técnicos expuestos en esta tesis.

Agradezco y resalto también la participación de todo nuestro equipo de Ingenieros de nuestra Planta de Celulosa, que con creatividad y disciplina lograron implementar esta modificación en Digestores en un muy corto tiempo y con alta calidad de trabajo.

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
RESUMEN.....	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 Química de Proceso RDH	6
2.2 Cocción convencional frente a cocción con tecnología RDH.....	7
2.3 Ventajas de la tecnología RDH	8
2.4 Requerimientos de equipos para proceso RDH.....	9
2.5 Proceso de Cocción RDH	9
3. OBJETIVO PRINCIPAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
3.1 Objetivos específicos.....	21
4. MATERIALES Y MÉTODOS	23
4.1 Modificación de un digestor con proceso RDH a objeto de mejorar la uniformidad de la cocción.....	23
4.2 Modificación de totalidad digestores Batch proceso RDH en Planta Constitución a objeto de mejorar la uniformidad de la cocción	24
5. RESULTADOS.....	28
5.1 Resultados operacionales y de calidad obtenidos en cocciones de un Digestor de Prueba (32-C-31), modificado en sus boquillas de líneas recirculación inferior, con procesos RDH en Planta Celulosa Constitución.....	28
5.1.1 Variación de Tiempos de Cocción.....	29
5.1.2 Kappa final de cocción.....	29
5.1.3 Rechazos o nudos.....	30
5.1.4 Flujos recirculación superior e inferior	31
5.1.5 Perfil de temperaturas en Digestor.....	32
5.1.6 Variabilidad del Número Kappa	33
5.1.7 Factibilidad económica de Modificación Boquillas	34
5.2 Resultados operacionales y de calidad obtenidos en cocciones de la totalidad de digestores (10), modificados en sus boquillas de líneas recirculación inferior, con procesos RDH en Planta Celulosa Constitución.....	36
5.2.1 Rendimiento Químico Madera.....	38
5.2.2 Rendimiento por cocción	38
5.2.3 Generación de no cocidos, nudos	39
5.2.4 Consumo álcali efectivo	40
5.2.5 Número Kappa	41
5.2.6 Desviación Número Kappa.....	42
5.2.7 Sólidos Generados.....	43
6. DISCUSION DE RESULTADOS.....	45
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	47

LISTA DE TABLAS

TABLA 1	Producciones de pulpa en CELARAUCO	01
TABLA 2	Variables de cocción en digestores sin modificar boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH	04
TABLA 3	Fechas intervención modificación boquillas de en líneas recirculación inferior en totalidad de digestores RDH de Planta Constitución	29
TABLA 4	Resultados de las mediciones realizadas en el digestor de prueba modificado, 32-C-31 (Kappa Objetivo = 29)	30
TABLA 5	Estimación de beneficios al considerar modificar la totalidad de los digestores (10) de Planta Constitución	38
TABLA 6	Rentabilidad del Proyecto considerando implementación boquillas adicionales en la totalidad (10) digestores de Planta Constitución	39
TABLA 7	Resultados globales obtenidas en digestores modificados, condiciones operacionales, consumos de químicos, vapor y calidad de Pulpa	41

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01	Patio Estanques involucrados en Proceso RDH en Planta Constitución-Chile	03
FIGURA 02	Variación de concentraciones de licor en el licor en interior del Digestor, durante las diferentes etapas del proceso de cocción RDH	07
FIGURA 03	Esquema Patio estanques involucrados en el Proceso cocción RDH (Rápido calentamiento por desplazamiento)	08
FIGURA 04	Esquema proceso carga de astillas en cocción RDH (Rápido calentamiento por desplazamiento)	13
FIGURA 05	Esquema proceso llenado de licor negro tibio en cocción RDH	15
FIGURA 06	Esquema proceso llenado de licor negro caliente (A) en cocción RDH	17
FIGURA 07	Esquema proceso llenado de licor negro caliente (B) en cocción RDH	17
FIGURA 08	Esquema proceso subida temperatura y recirculación a temperatura en cocción RDH	18
FIGURA 09	Esquema proceso desplazamiento licor negro caliente (A) posterior a cocción en cocción RDH.	20
FIGURA 10	Esquema proceso desplazamiento licor negro caliente (B) posterior a cocción en cocción RDH.	21
FIGURA 11	Esquema proceso desplazamiento licor negro caliente (C) posterior a cocción en ciclo RDH	21
FIGURA 12	Esquema proceso de descarga de pulpa fría desde interior digestor en cocción RDH	22
FIGURA 13	Boquillas succión harneros inferiores, actuales y futuros en digestores de Planta Constitución	26
FIGURA 14	Esquema de modificación de boquillas succión y recirculación digestor de prueba, 32-C-31, y totalidad digestores de Planta Constitución	26
FIGURA 15	Esquema de sistema de boquillas succión en harneros inferiores de digestores RDH, instalando 2 nuevas	28

	boquillas en la totalidad de los digestores de Planta Constitución	
FIGURA 16	Variación de tiempos cocción en digestor de prueba, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior en proceso RDH	31
FIGURA 17	Variación de kappa en pulpa producida en digestor de prueba, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH	32
FIGURA 18	Variación de nivel de rechazos o nudos en pulpa producida en digestor de prueba, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH	33
FIGURA 19	Variación medición de flujo Recirculación Superior en digestor de prueba, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH	34
FIGURA 20	Variación de medición de Flujos de Recirculación Inferior en digestor de prueba, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH	35
FIGURA 21	Variación de perfil de temperatura en zona intermedia en digestor de prueba, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH	36
FIGURA 22	Variación de número kappa en pulpa producida en digestor de prueba, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH	37
FIGURA 23	Variación de rendimiento madera %, en pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH	42
FIGURA 24	Variación de rendimiento por cada cocción de pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH	43
FIGURA 25	Variación de generación de rechazos o no cocidos (nudos), en pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH	44
FIGURA 26	Variación de requerimiento de álcali efectivo por cada cocción, para similar kappa objetivo en pulpa producida con la totalidad de	45

los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH

- FIGURA 27 Variación de kappa en pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH 46
- FIGURA 28 Variación de desviación de kappa en pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH 47
- FIGURA 29 Variación de nivel de sólidos generados en producción de pulpa con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH 48

RESUMO

MUÑOZ GUITIRREZ, Juan Humberto, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011. **Modificações de digestores RDH para melhoria da uniformidade de cozimento**. Orientador: José Lívio Gomide. Coorientadores: Cláudio Mudado Silva e Hélio Garcia Leite

A fábrica de Celulose Arauco y Constitucion S/A utilizava, desde a sua criação em 1975, o processo kraft convencional batch para produção de celulose. Em dezembro de 1996 os digestores foram modificados para o sistema RDH visando melhorar as resistências físico-mecânicas da polpa, aumentar o rendimento e reduzir o consumo de vapor, o que foi alcançado. Entretanto, os digestores RDH apresentavam problemas de canalização do licor de cozimento. Este estudo teve como objetivo analisar os resultados obtidos com o aumento de 2 para 4 no número de “nozzles” na parte inferior dos digestores, visando maior uniformidade do cozimento e melhoria global do cozimento. As modificações implantadas entre os anos de 2009 e 2010 para um digestor e, posteriormente, para todos os 10 digestores resultaram em minimização de entupimento das peneiras de circulação, consumo de álcali 1,5% menor, 2,87% menos sólidos e redução de rejeitos de cozimento em 53,5%, mesmo com um aumento de 1,8 unidades no número kappa.

ABSTRACT

MUÑOZ GUITIRREZ, Juan Humberto, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2011. **Modifications of RDH digesters to improve cooking uniformity**. Adviser: José Lívio Gomide. Co-Advisers: Cláudio Mudado Silva and Hélio Garcia Leite.

The Constitution mill of Celulosa Arauco y Constitución S.A. had, since start-up in 1975, a conventional batch kraft type cooking process to produce unbleached market pulp. In December 1996 the digesters were modified to the RDH process to increase pulp physical-mechanical properties, improve pulping yield and reduce steam consumption. All these objectives were achieved but it was necessary to improve even more digester performance. This study analyzes industrial digester modifications carried out between years 2009 and 2010 which consisted in increasing from 2 to 4 the number of nozzles for cooking liquor circulation in digester. The objective was to improve circulation and reduce liquor channeling in digester. This study shows that RDH digester modifications resulted in better liquor circulation, 1.5% lower alkali consumption, 2.87% decrease in solids generation and 53.5% decrease in rejects

RESUMEN

MUÑOZ GUITIRREZ, Juan Humberto, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julio de 2011. **Modificación de digestores RDH para mejorar la uniformidad de la cocción.** Orientador: José Lívio Gomide. Consejeros: Cláudio Mudado Silva y Hélio Garcia Leite.

Planta Constitución de Celulosa Arauco y Constitución S.A, tenía desde su puesta en marcha en 1975, un proceso típico de cocción convencional batch para producir pulpa café de mercado. En Diciembre 1996 el área de digestores fue modificada a proceso RDH para incrementar las propiedades físico mecánicas de la pulpa, incrementar la producción debido al aumento del rendimiento de la pulpa e para reducción del consumo de vapor por cocción. Entretanto, el principal problema de los digestores RDH era la canalización del licor y este estudio consiste en presentar los resultados de una modificación en las boquillas de succión, que se aumentan de 2 a 4, en líneas de licor de recirculación inferior. La base de esta modificación e implementación fue el resultado de un periodo de prueba realizada entre el año 2009 y 2010, con un primer digestor modificado. Con dicha implementación, se minimizaran los problemas de obstrucción de los harneros mediante una distribución más uniforme del licor negro en interior del digestor, consiguiendo con ello disminuir el consumo de álcali en 1,5 %, se disminuir la generación de sólidos en 2,87 %, se reducir el exceso de astillas no cocidas (rechazos) en 53,5 %, para incluso un kappa mayor que se logra subir en un 1.8 %.

1. INTRODUCCIÓN

Celulosa Arauco y Constitución S. A., CELARAUCO, es una empresa forestal chilena que opera en Chile 5 plantas de celulosa kraft de *Pinus radiata* y *Eucalyptus*, de las especies *globulus* y *nitens*. La totalidad de la producción de aproximadamente 2,5 millones de toneladas es comercializada en el mercado internacional. Estas plantas se ubican en diferentes regiones de la zona centro sur del país, donde se encuentran las principales plantaciones de bosques artificiales con fines industriales.

TABLA 1 - Producciones de pulpa en CELARAUCO

Planta	Producción	Tipo de pulpa
Licancel	100.000	pino blanca
Constitución	350.000	cruda de pino
Arauco	750.000	Pino y eucaliptus blanca
Nueva Aldea	1.150.000	Pino y eucaliptus blanca
Valdivia	550.000	Pino y eucaliptus blanca
Alto Paraná	350.000	Pino blanca

Fuente: Información interna de la empresa

La planta de celulosa Constitución tiene una línea de producción, de pulpa de pino café, una capacidad de 1000 Adt/d.

El área de Digestores de Planta Constitución dispone de die digestores batch, con los cuales se produce pulpa kraft en condiciones de calidad y cantidad especificadas, utilizando madera de pino radiata y reactivos de cocción.

En el interior de los digestores se realiza la reacción de cocción de astillas de madera, que es la disolución de la lignina bajo la acción de los reactivos químicos NaOH y Na₂S, llamado Licor Blanco, y temperatura, para separar las fibras de celulosa de los otros elementos constitutivos de la madera.

La madera, que previamente ha sido descortezada, astillada y clasificada en el área de Preparación de Madera, se alimenta a los Digestores por medio de correas transportadoras en la Etapa de Carga de Astillas. Durante el proceso de carga, se mide en forma continua el peso de las astillas. A su vez, las astillas van siendo compactadas en el digestor con vapor de 3.5 kg/cm², lo cual comienza una vez cargada una cierta cantidad de astillas prefijada.

Finalizada la carga de madera en el digestor, se carga un "colchón" de **Licor Frío** (o **CoolPad**) para evitar el flasheo de licor caliente en etapas posteriores. Luego, se inicia el llenado de licores con temperatura, lo cual comprende dos etapas: **Carga de Licor Tibio** (o **WarmFill**) y **Carga de Licor Caliente** (o **Hot Fill**).

Al final de la etapa de carga de licor tibio (o **Warm Fill**) se realiza una recirculación de licor (elevando la temperatura del licor mediante el intercambiador de calor de cada digestor, con la finalidad de precipitar el carbonato de calcio soluble presente en la madera y evitar incrustaciones en el área de Evaporadores. Una vez finalizada la carga de licor caliente C₂ final se crea una cámara de desgase mediante la extracción de licor, luego de la cual se inicia la **Etapa de Cocción**, etapa en la cual se recircula el licor contenido en el digestor a través de un intercambiador de calor con vapor hasta llegar a una temperatura determinada, app. 170 °C. Alcanzada esta temperatura el digestor continúa recirculando hasta alcanzar el factor H objetivo de la cocción, momento en el cual finaliza la Cocción y comienza la Etapa de Desplazamiento.

En el **Desplazamiento** el licor de cocción se desplaza con inyección de licor negro frío, proveniente del área de lavado, y luego la fibra es descargada por bombeo a los estanques de descarga en la etapa de **Descarga**.

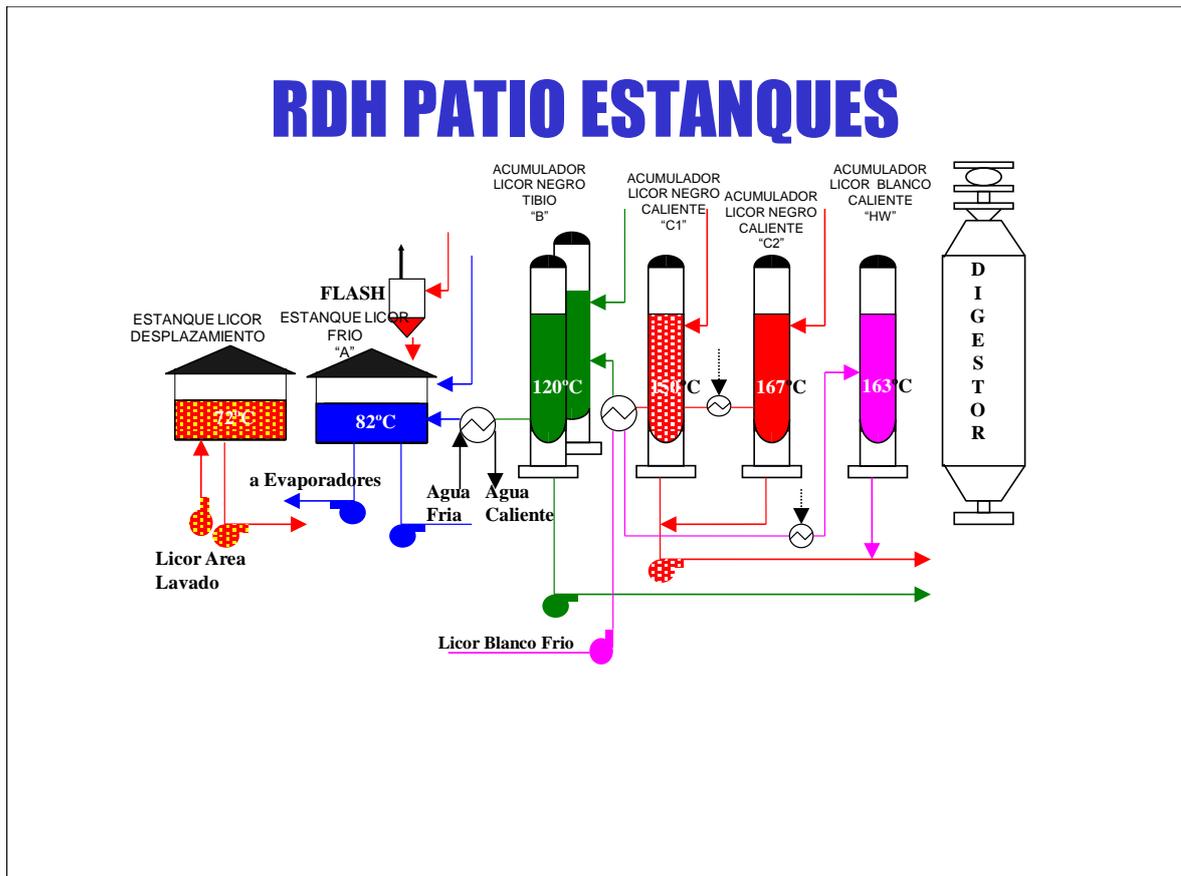


Figura 01. Patio Estanques involucrados en proceso RDH en planta Constitución.

En el proceso de cocción de este sistema se presentan problemas operacionales mayoritariamente por efecto de homogeneidad, tanto de las astillas, flujos de recirculación y desplazamiento de licor en interior de digestores con proceso RDH.

Los principales problemas existentes en los digestores de procesos RDH en Planta Celulosa Constitución son:

- Problemas en etapa Carga de Astillas

La gran variación en la carga de las astillas puede crear problemas de canalización del licor en interior del digestor debido a la variación de la compactación de la astilla (chip packing) la cual es afectada, en gran parte, por el peso total de las astillas.

-Problemas en etapa Llenado Tibio

La etapa de Llenado Licor Tibio es frecuentemente interrumpida frecuentemente por la canalización del licor negro a alta temperatura hacia el tanque A. Este problema de canalización en el digestor afecta la carga química de cocción, así como también la temperatura de cocción.

-Problemas en etapa Llenado Caliente

Existe una gran variación en la temperatura del interior del digestor después de la etapa Llenado Licor Caliente. Esta variación también es resultado de la canalización del digestor. Este problema de canalización afecta la carga total de químicos para la cocción, la distribución uniforme de los químicos y la temperatura al interior del digestor.

-Problemas en etapa de cocción

El principal problema de los digestores batch de Planta Constitución es la canalización del licor durante el proceso de recirculación en la etapa de cocción, a fin de alcanzar el Factor H objetivo, debido a que se dispone de harneros de recirculación que están dispuestos más bajo de lo normal en los digestores, por donde es succionado el Licor Negro desde su interior, pasando a través de estos todo el flujo de recirculación, operación durante el cual los orificios de los harneros también se obstruyen, disminuyendo el flujo y generando canalizaciones en su interior.

Las principales variables y resultados de cocciones en los digestores Batch RDH de Planta Constitución en el periodo anterior a la modificación, Enero 2009 a Octubre 2010 se muestran en Tabla 02, donde se resalta el alto nivel de rechazos o nudos debido a las canalizaciones y obstrucción de los harneros durante las etapas cocción en los digestores.

Tabla 02. Variables de cocción en digestores sin modificar boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH

RENDIMIENTO MADERA %	RENDIMIENTO COCCION Adt/Coccion	ALCALI EFECTIVO COCCION Kg/Adt	SOLIDOS GENERADOS TSS/Adt	KAPPA X N°	KAPPA X desv	RECHAZOS NUDOS %
45,90	15,88	378,37	1,42	35,37	2,25	6,88

Con la implementación de 2 boquillas adicionales se minimizan los problemas de obstrucción de los harneros mediante una distribución más uniforme del licor. Además, con esto se consigue disminuir el consumo de álcali en 1,5 %, se disminuye la generación de sólidos en 2,87 %, se reduce o disminuye el exceso de astillas no cocidas (rechazos) en 53,5 %, para incluso un kappa mayor que se logra subir en un 1.8 %.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Química de Proceso RDH

Por medio del reciclaje de altos volúmenes de licores agotados a través del digestor de celulosa, no solamente una cantidad substancial de energía a temperaturas adecuadas se recicla, sino que también permite la reutilización de químicos, específicamente de sulfuro de sodio. La reutilización de sulfuros la clave para extender des lignificación.

En la cocción convencional de celulosa al sulfato, sea continua o batch, la concentración del ión de ácido sulfídrico en la cocción de licores es muy bajo al inicio de la deslignificación. La mayor parte del sulfuro se combina, de una manera libre, con sustancias orgánicas y se libera a cierto punto en el proceso de cocción. Esta deficiencia de sulfuro resulta en reacciones de "cocción de soda" que a su vez, generan reacciones compuestas capaces de condensación. La lignina condensada es difícil de disolver, ésta es la principal causa de la disminución de medida de deslignificación en la cocción convencional, lo que dificulta que la cocción de maderas coníferas se realice a menos de un índice de kappa de 30. En la cocción con tecnología *RDH*, la concentración de sulfuros, al comienzo de la deslignificación, es de 4 a 5 veces más alta que en la cocción convencional. Como consecuencia, la tendencia de reacciones de cocción de soda es mucho menor, permitiendo la cocción a bajos índices de números kappa sin perder la selectividad.

En Figura 02, se presentan variación de concentraciones de licor en el licor dentro del Digestor, durante las diferentes etapas del proceso de cocción RDH.

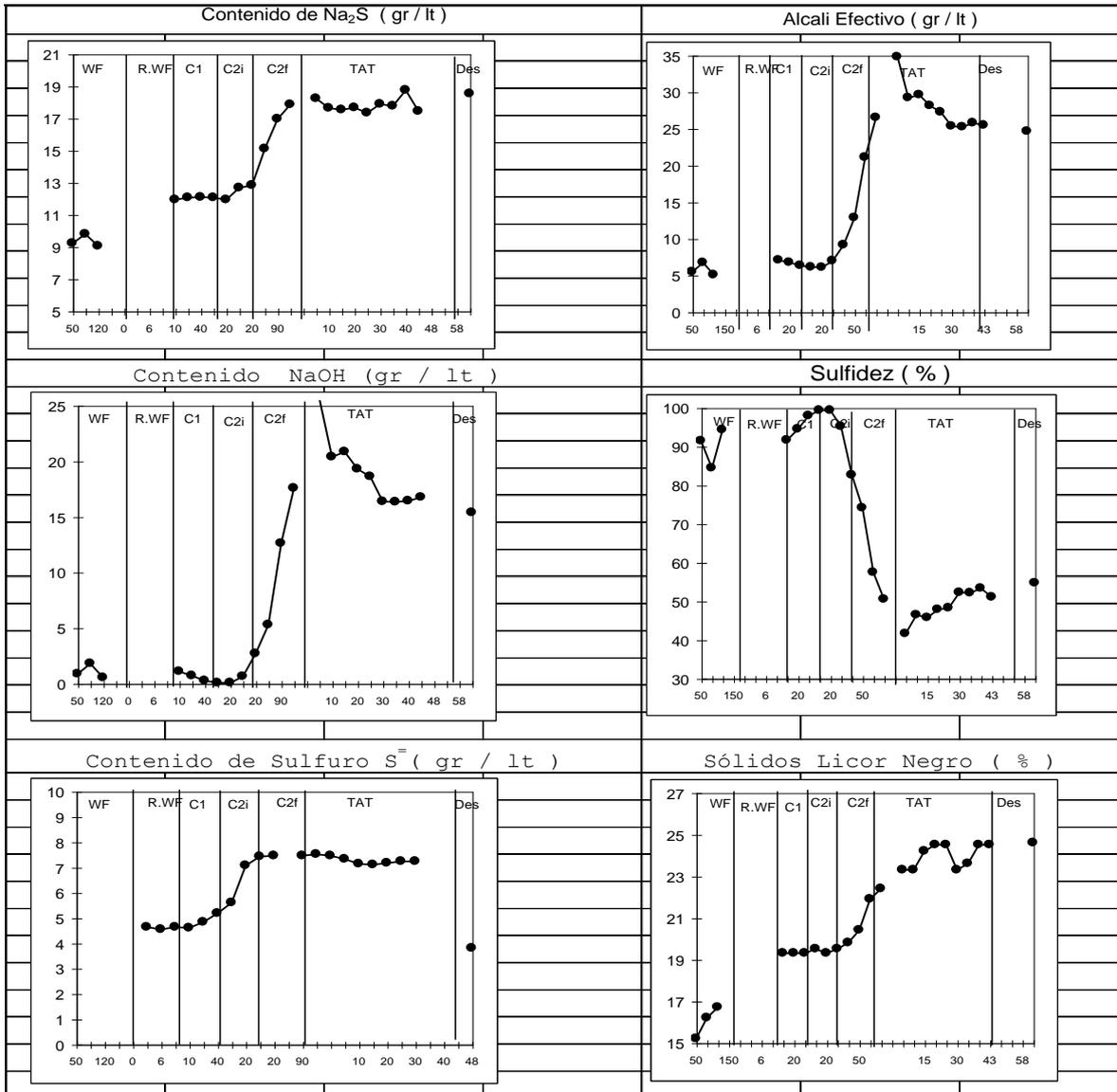


Figura 02. Variación de concentraciones de licor en el licor en interior del Digestor, durante las diferentes etapas del proceso de cocción RDH.

2.2 Cocción convencional frente a cocción con tecnología RDH

En la cocción convencional, todo el álcali es cargado al mismo tiempo con una concentración alta y una proporción de licor a madera de 3 a 1. En la cocción con tecnología *RDH*, una porción substancial del álcali es cargada en la etapa inicial de cocción, donde la mayor parte de las reacciones primarias se realizan. Los productos reaccionarios de ésta etapa de cocción, son expulsados fuera del digestor antes de que la deslignificación final ocurra. Cuando cantidades pequeñas de álcali son cargadas para deslignificación, debido a que la proporción de licor a madera es

normalmente más alta de 5 a 1, la concentración inicial del álcali es mucho menor que en la cocción convencional.

La cocción *RDH* no es "soplada" como en la cocción convencional. Los licores de cocción a altas temperaturas son desplazados fuera del digestor al final de la cocción, y éste contenido, al enfriarse, es bombeado al tanque de descargas. El digestor *RDH* no presenta el fenómeno de liberación de gas suministrado (gas suministrado de Trementinas en el caso de maderas coníferas). La única liberación que se realiza durante el proceso, es la de control de presión durante el calentamiento. El digestor libera hacia el Acumulador Tibio "B" por medio de éste sistema de control de presión, al tiempo que el acumulador caliente "C" también libera hacia los acumuladores "B". Por último, el Acumulador Tibio "B" libera hacia el sistema condensado de liberación de gas suministrado.

El período de calentamiento es muy corto en un digestor *RDH*, ya que , la química en la cocción *RDH* es diferente de aquella que se encuentra presente en la cocción convencional.

2.3 Ventajas de la tecnología RDH

Las ventajas de la tecnología desarrollada por Beloit con respecto a los digestores RDH son las siguientes:

- 1: El bajo consumo de energía.
- 2: La selectividad de alta cocción que permite una deslignificación extendida.
- 3: Pulpa con resistencia físico-mecánicas mucho más alta que la obtenida con sistemas de cocción convencional.
- 4: Menor generación de flujos de gases olorosos fuera del sistema facilitando su manejo en sistemas de liberación de gases condensados;

Como resultado de la finalización de la Operación de Desplazamiento, el digestor completa un paso adicional de lavado.

El bajo nivel de condensación de Lignina que ocurre durante el proceso de cocción RDH, y el almacenamiento de licores a altas temperaturas, producen que los licores negros se desplacen hacia los evaporadores manteniendo una viscosidad

más baja, que aquella presente en la cocción convencional, lo cual facilita la evaporación de sólidos concentrados de alto disolvente que tiene por objetivo la recuperación de la cocción.

2.4 Requerimientos de equipos para proceso RDH

El sistema **RDH** desarrollado por Beloit, requiere de un Patio de Tanques los cuales son necesarios para la acumulación de licores agotados calientes provenientes de la cocción realizada en uno de los digestores, y que serán utilizados en las cocciones que prosiguen. El compactador de vapor es la única pieza opcional en el sistema **RDH**.

Toda la energía perdida inicialmente durante la operación de soplado, en la cocción convencional, es conservada en el Patio de Tanques **RDH** conservándose de ésta manera en el sistema.

2.5 Proceso de Cocción RDH

El proceso de cocción RDH consiste en digestores Batch y un patio de estanques que permite almacenar una variedad de licores negro, conservando la temperatura y el nivel de químicos residual, para cada una de las cocciones de los digestores. Ver Figura 03.

Durante el Ciclo de Cocción **RDH**, licores fríos, tibios y calientes provenientes del Patio de Tanques **RDH** son necesarios para cargar el digestor.

Los estanques se denominan Estanque licor negro frio "A", acumulador licor negro tibio "B". Acumulador licor negro caliente "C", acumulador licor blanco caliente, y estanque desplazamiento. El licor negro desde previas cocciones batch es usado en la siguiente cocción batch para conservar la energía y reciclar los químicos.

Este proceso dispone de la implementación de descarga de los digestores a través de bombas centrífugas, que permiten retirar la pulpa desde su interior a una temperatura inferior a los 100°C y a presión atmosférica.

En cocción convencional la pulpa es soplada, retirada del digestor, a alta temperatura y presión, lo cual causa daño mecánico a la fibra de celulosa

Tanto el tratamiento con licor negro en el inicio de la cocción como la descarga con bombas mejora la calidad de la pulpa, reduce el consumo de energía y mejora el rendimiento, comparado con un sistema de cocción convencional.

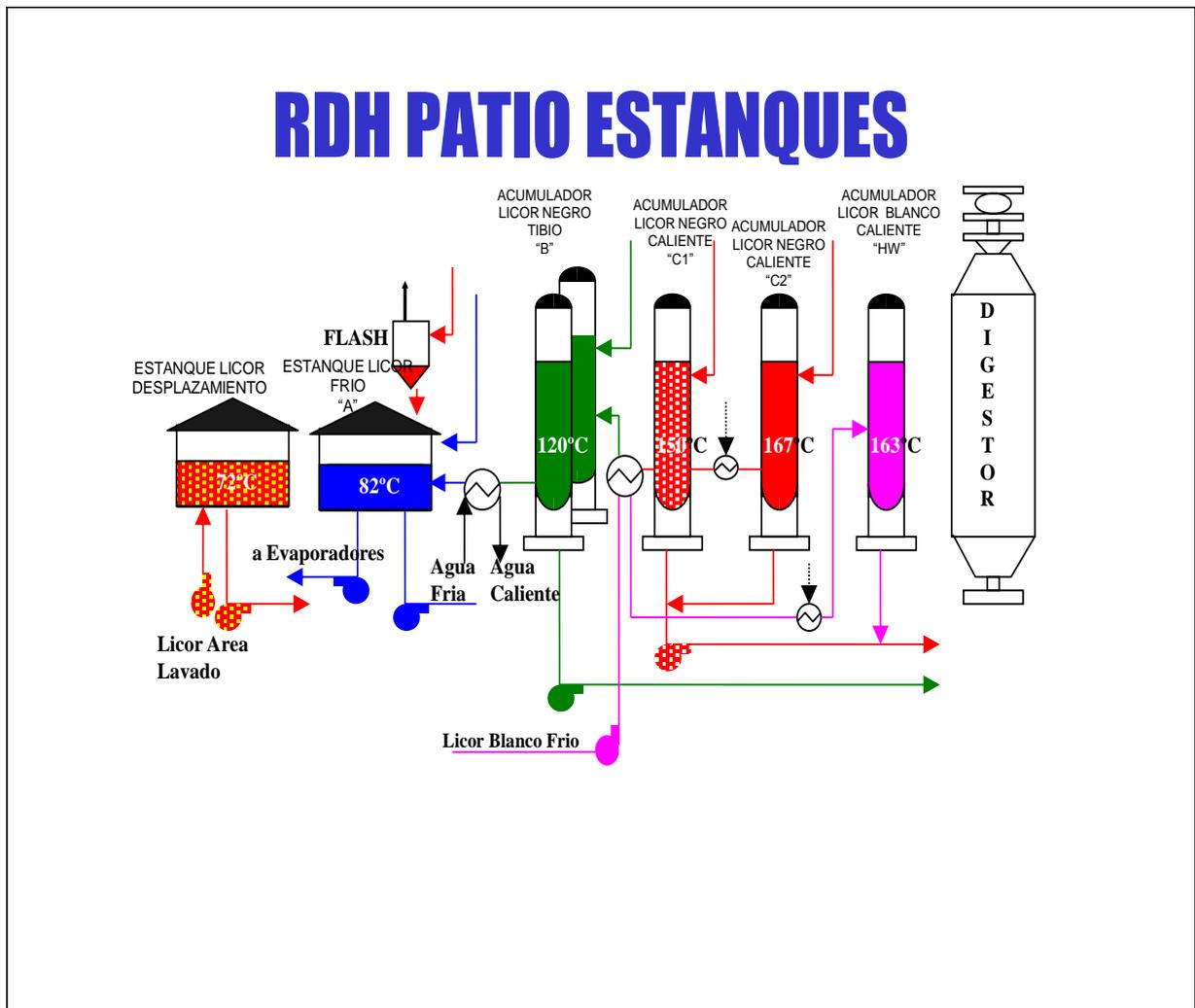


Figure 03. Esquema Patio estancques involucrados en el Proceso cocción RDH (Rápido calentamiento por desplazamiento).

La tecnología **RDH** fue desarrollada por la compañía **Beloit** a principios de 1980 y fue basada en patentes que enfatizaron la reutilización de energía y químicos calientes y agotados de cocción Kraft de la manera mas eficaz posible. A través de los años, **Beloit** ha realizado múltiples cambios en sus patentes, mejorando la calidad de dicha tecnología, en el proceso de evolución a su estado actual.

El ciclo de cocción del proceso **RDH** consta de seis (6) operaciones siguientes:

- Durante la operación de desplazamiento, la cual culmina el ciclo de cocción,

el licor es desplazado desde el digestor, inmediatamente después de haber participado en el proceso de cocción, de regreso al Patio de Tanques *RDH*. Estos flujos de licores, desde y hacia el Patio de Tanques *RDH*, están basados en un balance de energía y en unos volúmenes predeterminados.

De la calidad de las maderas y astillas utilizadas depende la calidad de la pulpa que se genera. La cantidad de pulpa producida varía de acuerdo con la clase de maderas utilizadas. Esto se debe en parte a la longitud de las fibras de diferentes maderas. Algunas maderas en estado de putrefacción pueden ser desfibradas y pulpeadas, sin embargo, maderas en éstas condiciones no solo generan una baja cantidad de pulpa, sino que también reducen la calidad de la misma, requiriendo un incremento correspondiente en químicos de cocción.

Operación de Carga de Astillas

Las astillas son depositadas en el digestor, y durante el ciclo de cocción, licores a cuatro temperaturas, y niveles de concentración diferentes son reciclados a través de la masa de astillas. Durante la **Operación de Carga de Astillas**, mientras éstas son depositadas en el digestor, a través de una válvula de relleno, licores provenientes del **Tanque de Licor Frío "A"** son bombeados hacia el fondo del digestor. Los propósitos de ésta operación son dos: primero, crear una almohada en el fondo del digestor antes de la introducción del **Licor Tibio "B"** a una temperatura de más de 100 °C: y segundo, reciclar algunos de los químicos de cocción a través de las astillas. Mientras la operación de bombeo de los **Licor Frío "A"** se realiza dentro del digestor, una cantidad medida de **Licor Blanco Frío** es introducida con ésta carga. Esta pequeña carga de licor blanco es parte de la carga total de licor blanco calculada.

Para lograr una densidad uniforme de astillas dentro del digestor, la **Distribución de Celulosa** se logra durante la Operación de Carga de Astillas, al mismo tiempo que éstas son calentadas por el Compactador de Vapor.

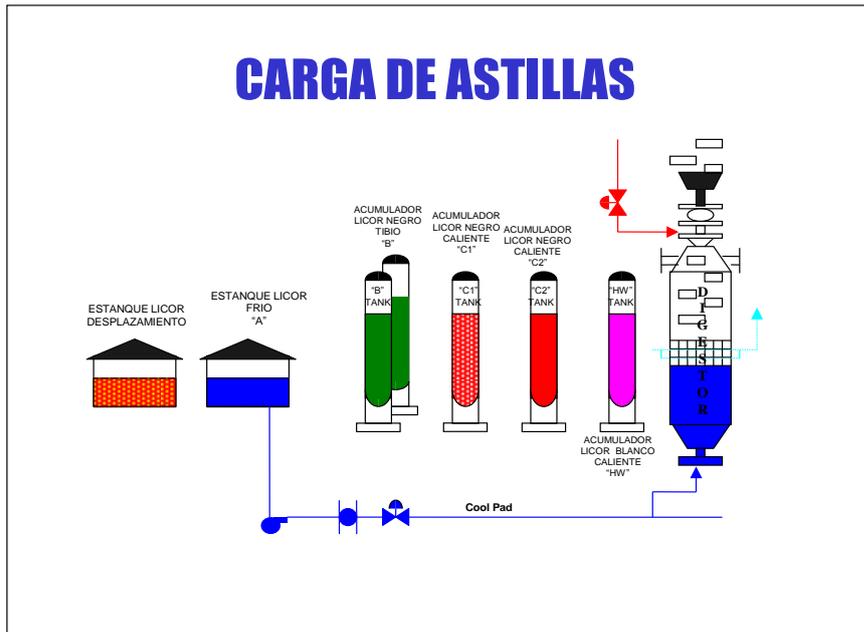


Figure 04. Esquema proceso carga de astillas en cocción RDH (Rápido calentamiento por desplazamiento)

Operación de Llenado de Licor Tibio

El digestor es llenado hidráulicamente con licor negro tibio, al tiempo que es presurizado. Después de que la operación de **Carga de Astillas** se completa, la válvula de ingreso de astillas se cierra mientras que las válvulas de control principal de presión y de salida del digestor hacia el **Tanque de Licor Frío "A"** se abren al 100%. La operación de **Carga de Licor Tibio** se inicia cuando el **Licor Tibio "B"** es bombeado a través del digestor, llenando hidráulicamente el digestor, mientras desplaza aire y una pequeña porción de licor tibio hacia el **Tanque de Licor Frío "A."**

Cuando el volumen predeterminado de Licor Tibio "B" es alcanzado, ó la temperatura de salida del digestor alcanza los 100 °C, las válvulas de salida hacia el **Tanque Frío "A"** y de control principal de presión, se cierran.

El Bombeo de Licor Tibio continúa su recorrido contra el digestor cerrado presurizándolo hidráulicamente. Cuando el Bombeo de Licor Tibio se detiene, el digestor se encuentra completamente aislado y preparado para continuar con el Llenado de Licor Caliente. Durante el Llenado de Licor Tibio, **Licor Blanco Frío** es introducido constantemente. La cantidad de carga de éste Licor Blanco, forma parte de la carga total calculada para dicho Licor

Debido al desgaste acelerado del álcali que ocurre en la primera fase de

cocción, cuando licores provenientes del tanque frío "A" se introducen a la Operación de Carga de Astillas, así como Licores Tibios "B" provenientes del acumulador tibio "B" se introducen durante el Llenado de Licor Tibio, es crucial añadir álcali para compensar por éste consumo. Este fenómeno de desgaste se produce debido a que estos licores son los primeros en entrar en contacto con las astillas.

Maderas nobles requieren de una carga mayor de álcali que maderas coníferas. Omitir la cantidad necesaria de álcali, resultaría en un fenómeno de precipitación de sustancias orgánicas, el cual podría obstaculizar la uniformidad de deslignificación, así como reducir las propiedades de blanqueamiento de la pulpa.

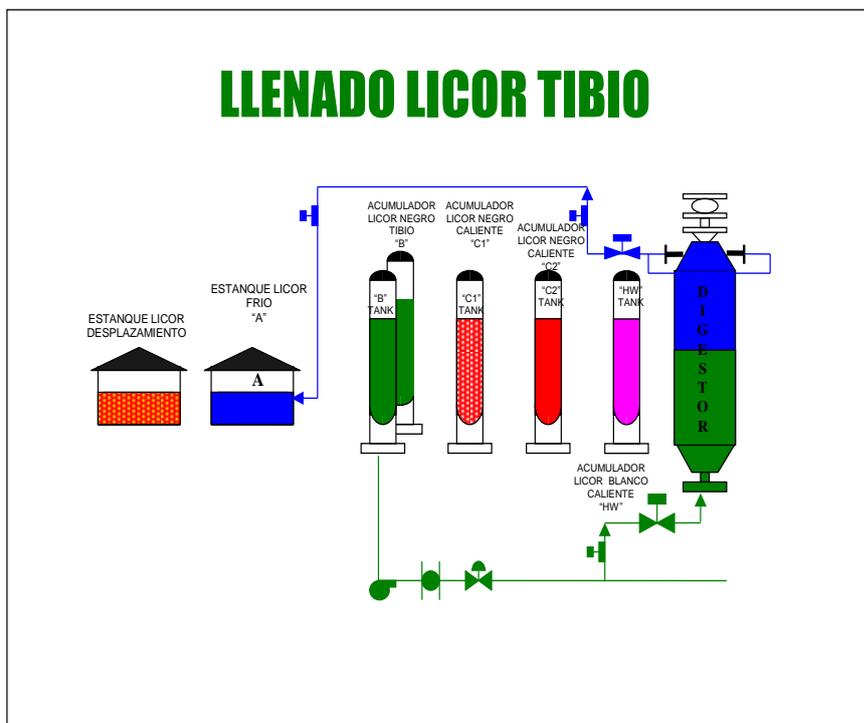


Figure 05. Esquema proceso llenado de licor negro tibio en cocción RDH

Operación de Llenado de Licor Caliente

El licor negro tibio es desplazado junto con los licores negros y blancos calientes, ver figuras 06 y 07. Cuando el Llenado de Licor Tibio se completa, el digestor está preparado para entrar al Llenado de Licor Caliente.

La Operación de Llenado de Licor Caliente está compuesta de tres pasos:

Paso 1: Carga Caliente inicial proveniente del Acumulador de Licor Calientes C_1" + Licor Blanco Caliente

Paso 2: Carga Caliente inicial proveniente del Acumulador de Licores

Calientes C-2" + Licor Blanco Caliente

Paso 3: Carga Caliente final proveniente del Acumulador de Licores Calientes C_2" + Licor Blanco Caliente

Durante estos tres pasos, el mantenimiento de las concentraciones apropiadas de álcali es esencial. Una pequeña cantidad de Licor Blanco Caliente es introducida durante los pasos 1 y 2, finalizando con la carga del Licor Blanco Caliente en el paso 3. Durante éste, la mezcla de Licor Caliente C-2" y Licor Blanco Caliente son introducidas dentro del digestor de una manera en la que la concentración del álcali, durante la operación de carga caliente, se mantenga tan uniforme como sea posible, iniciándose en la cima hasta llegar al fondo del digestor.

El cálculo del Factor-H" se inicia durante el paso 3, y continúa a través de las operaciones de La Tiempo para Temperatura, y La Tiempo a Temperatura hasta que el Factor-H" deseado es alcanzado.

Durante la Operación de Llenado de Licor Caliente, el licor que ha salido del digestor regresa al Acumulador de Licor Tibio "B" y continúa hacia el Acumulador de Licor Caliente "C_1" con un objetivo de volumen predeterminado. A éste punto del proceso, el digestor de celulosa está listo para entrar en la Tiempo para Temperatura de Cocción.

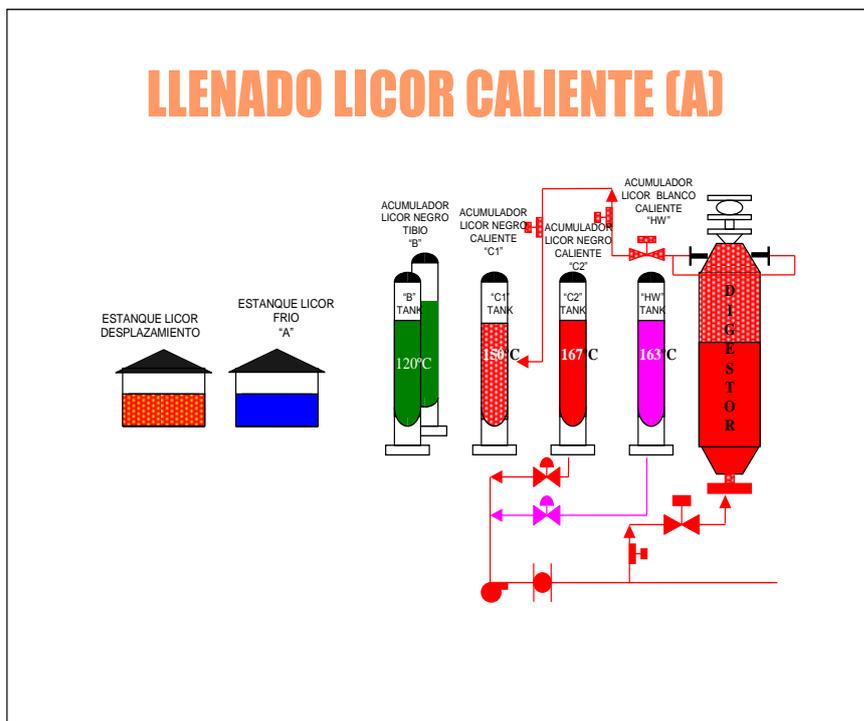


Figure 06. Esquema proceso llenado de licor negro caliente (A) en cocción RDH.

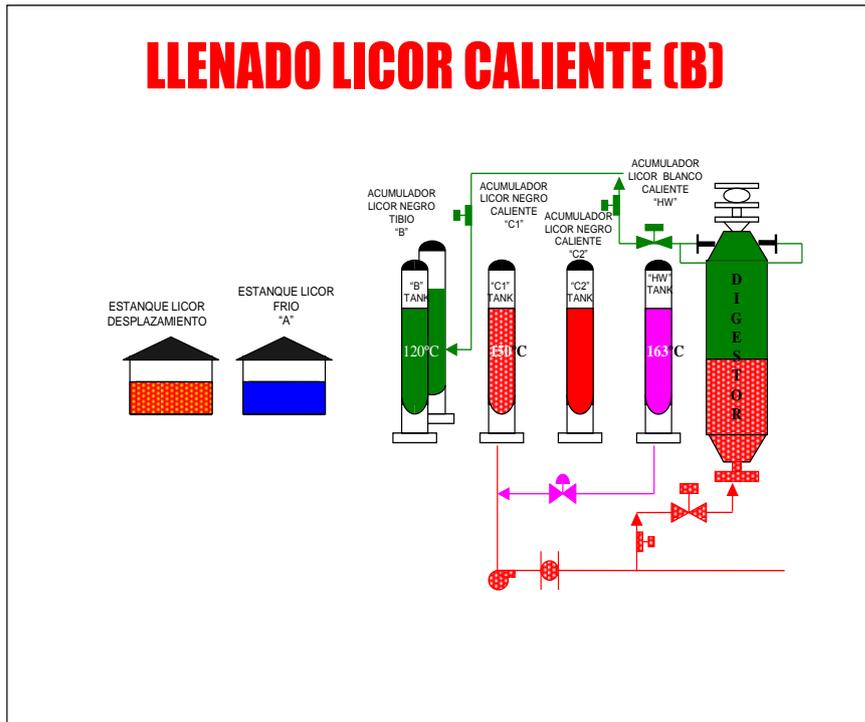


Figure 07. Esquema proceso llenado de licor negro caliente (B) en cocción RDH.

Operación de Tiempo para Temperatura de Cocción

Cuando la Operación de Llenado de Licor ha finalizado, el digestor se aísla completamente debido a que todas las válvulas de entrada y salida del digestor se encuentran cerradas.

Al principio de la Operación de Tiempo para Temperatura de Cocción, la bomba de recirculación del digestor inicia su funcionamiento y recircula el contenido del digestor por un tiempo predeterminado, después del cual, la vaporización final comienza y el vapor es introducido dentro del intercambiador hasta que la temperatura y presión del digestor están listas para iniciar la cocción. Durante ésta operación, el digestor mantiene su presión de operación por medio de liberaciones hacia el Acumulador de Licor Tibio "B."

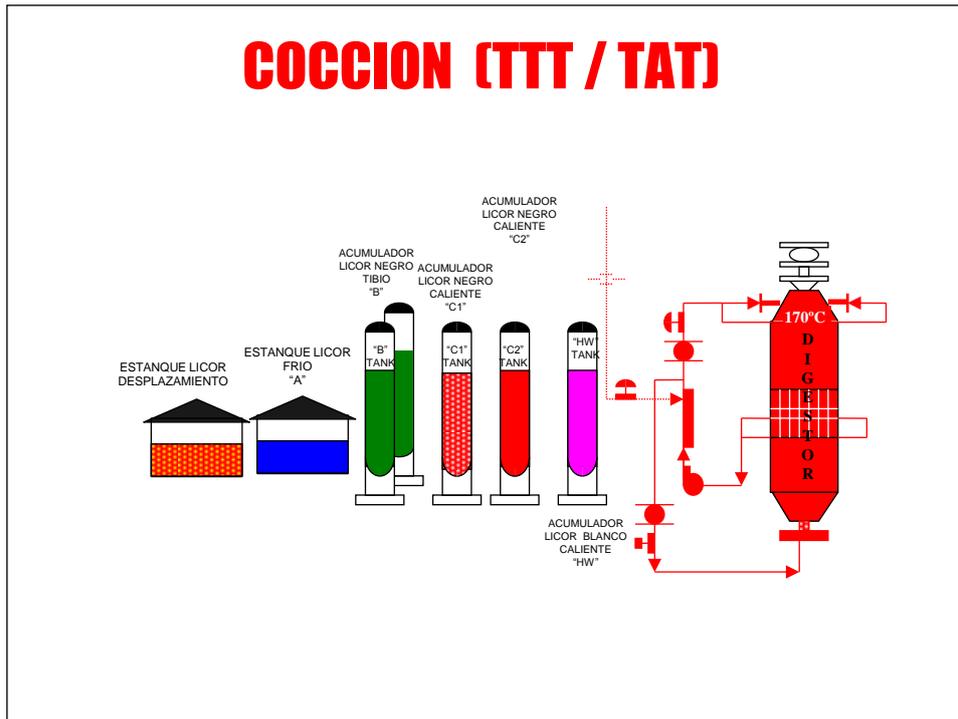


Figure 08. Esquema proceso subida temperatura y recirculación a temperatura en cocción RDH.

Operación de Tiempo a Temperatura

El contenido del digestor es llevado a la temperatura y presión de cocción, la cual se completa posteriormente cuando el Factor-H es alcanzado.

Cuando la temperatura deseada de cocción se alcanza durante la Operación de Tiempo para Temperatura de Cocción, la Operación de Tiempo a Temperatura se inicia.

Desde el momento en que el cálculo del "Factor-H" se inicia, con la introducción de la Descarga Final de Licor Caliente Proveniente del "C-2" y de la Descarga Final de Licores Blancos Calientes durante la Operación de Llenado Licor Tibio, La Tiempo Subida Temperatura Operación continúa hasta que el objetivo final del "Factor-H" es alcanzado. Por medio de la Tiempo a Temperatura Operación el digestor mantiene la presión de cocción, liberando hacia el Acumulador de Licor Tibio "B." Cuando el "Factor - H" deseado es obtenido, el digestor está preparado para iniciar la Operación de Desplazamiento, comenzando así el círculo nuevamente

Operación de Desplazamiento

Los licores calientes de cocción que se encuentran en el digestor son desplazados con el licor débil frío proveniente del Área de Lavado de Pulpa. El licor

negro caliente que se desplaza, se almacena a una temperatura y presión determinadas en el Patio de Tanques **RDH** para ser usado en las cocciones siguientes. La Operación de Desplazamiento es la última etapa en el proceso de cocción.

Al final de la cocción, los licores agotados calientes que se encuentran en el digestor son desplazados desde el tope del digestor, a través de harneros de desplazamiento, y por medio del bombeo de filtrado de lavadores, hacia el fondo del digestor. Estos licores agotados calientes son transportados y almacenados en diferentes acumuladores presurizados, a diferentes temperaturas y niveles de concentración.

El licor caliente es desplazado. La fracción más caliente es transportada al Acumulador de Licor Caliente "C-2" (Desplazamiento A, figura 09), y las fracciones en proceso de enfriamiento son desviadas progresivamente al Acumulador de Licor Caliente "C-1." (Desplazamiento B, figura 10).

El exceso de Licor Calientes "C-1" es usado en el calentamiento de Licor Blanco Frío que se realiza en un Intercambiador de Calor. El exceso de Licor IIC-1¹¹ es dirigido al Acumulador de Licores Tibios "B", (Desplazamiento C, figura 11), mientras que el Licor Blanco Frío continúa su calentamiento a través de un calentador de vapor/licor antes de ser almacenado en el Acumulador de Licor Blanco Caliente.

El exceso de Licor Tibio "B" en el Acumulador "B", es transferido al Tanque de Licores Fríos "A" a través de un enfriador de recorte donde se genera el agua caliente necesaria para la continuación del proceso.

Finalmente, el licor que se encuentra en el Tanque de Licores Fríos "A" es transportado fuera del sistema hacia los Evaporadores.

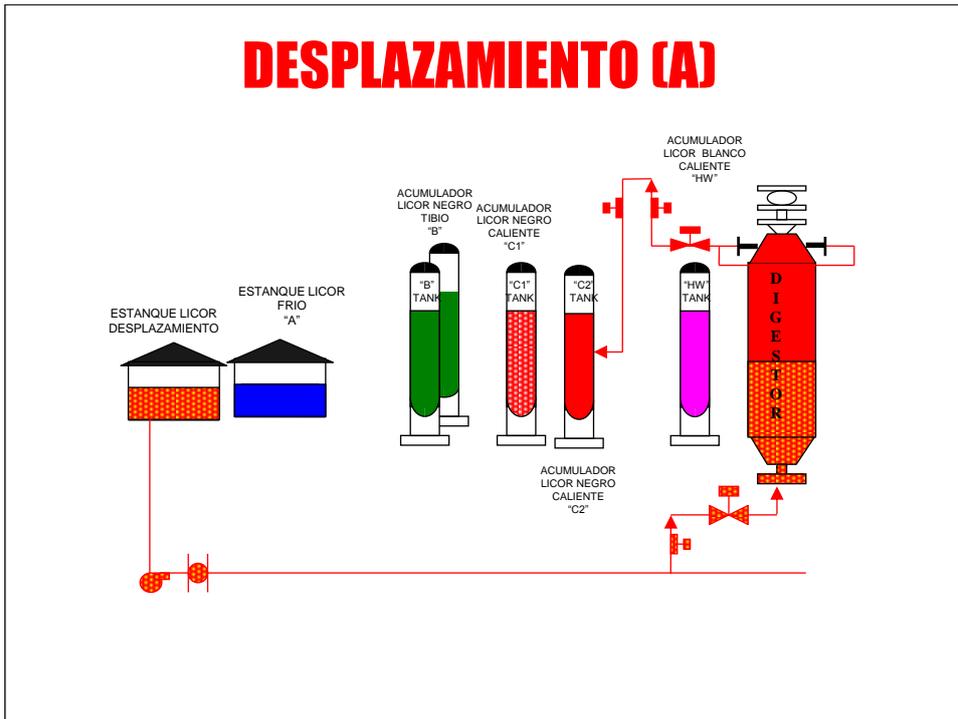


Figure 09. Esquema proceso desplazamiento licor negro caliente (A) posterior a cocción en cocción RDH.

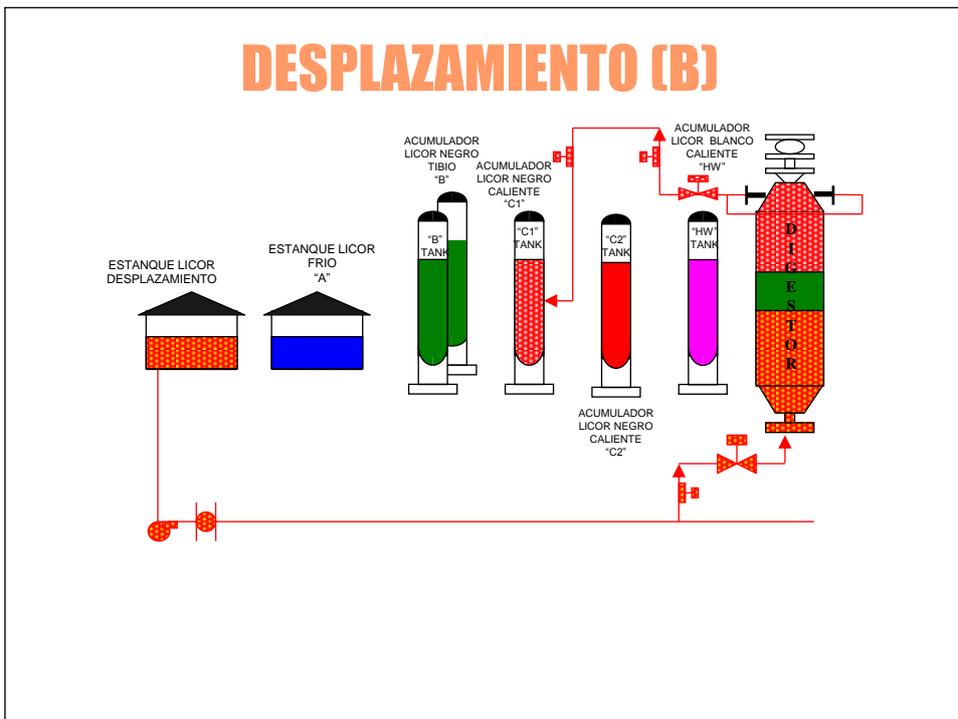


Figure 10. Esquema proceso desplazamiento licor negro caliente (B) posterior a cocción en cocción RDH.

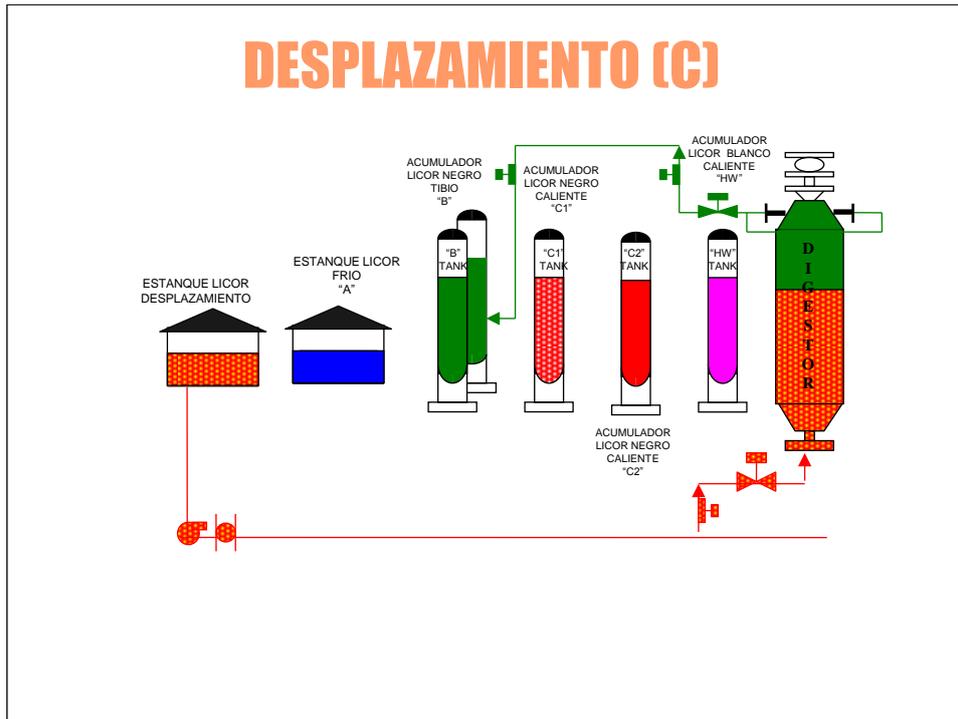


Figure 11. Esquema proceso desplazamiento licor negro caliente (C) posterior a cocción en ciclo RDH.

Operación de Descarga

La pulpa fría en el interior del digestor es diluida con licores negro débil, que provienen de los lavadores de la pulpa café, y son bombeados al Estanque de Descarga de Pulpa del Digestor. Seguido a la Operación de Descarga, la válvula de campana del digestor se abre a la atmósfera, acondicionando el digestor para iniciar un nuevo ciclo de cocción, el cual se inicia con la Operación de Carga de Astillas.

Al completarse la **Operación de Desplazamiento** y una vez que todo el licor caliente cocción son desplazados y almacenados en acumuladores presurizados, el digestor comienza su preparación para el inicio de la **Operación de Desplazamiento**.

Durante la **Operación de Descargas**, el contenido del digestor es diluido a una consistencia específica que puede oscilar entre 5.0% y 6.0%, Y luego este contenido es descargado al Tanque de Descargas. El volumen de licor de dilución se deriva del **Lavado Filtrado de la Pulpa Morena** la cual se almacena en el Tanque de Desplazamiento.

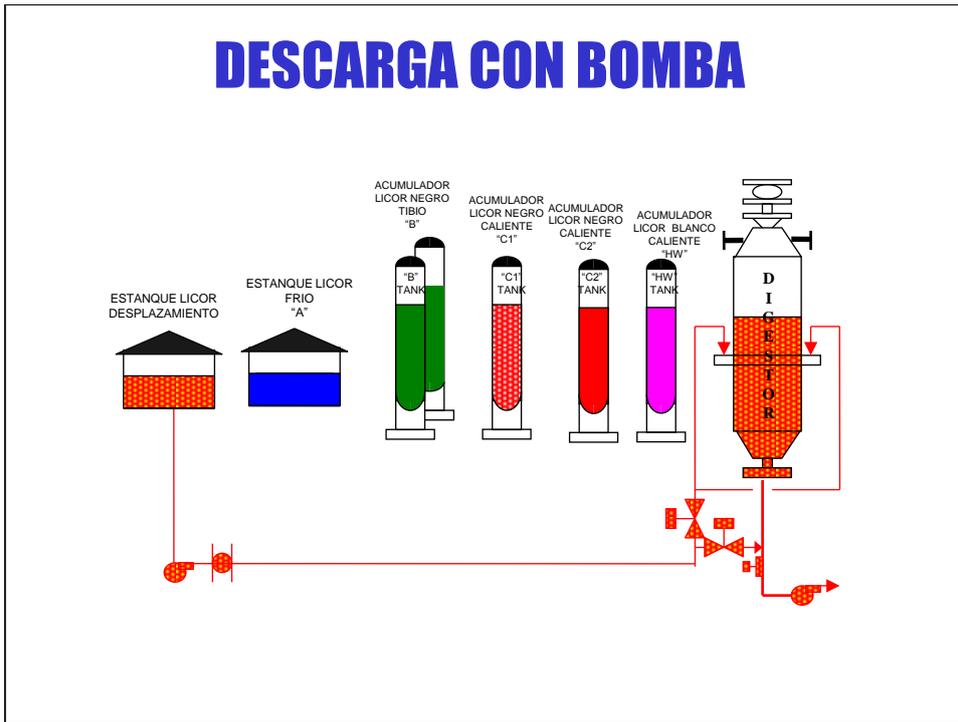


Figure 12. Esquema proceso de descarga de pulpa fría desde interior digestor en cocción RDH.

3. OBJETIVO PRINCIPAL DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo de este trabajo de tesis, evaluar el efecto de implementación de boquillas adicionales en la zona de recirculación inferior de los Digestores con proceso RDH de Planta Constitución, a fin de mejorar la uniformidad de la cocción, con la instalación de 2 nuevas boquillas adicionales en los 10 digestores que dispone el área de Pulpa, basados en los excelentes resultados obtenidos en una prueba a escala industrial en (1) uno de los 10 digestores (32-C-31), realizado en el periodo año 2009 – 2010.

Dicha prueba fue monitoreada en todas las cocciones realizadas por dicho digestor, siguiendo sus parámetros de operación, consumos específicos y calidades de la pulpa producida, lo que junto a una evaluación económica favorable, llevo a la decisión de implementarla en los 9 digestores restantes.

3.1 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este trabajo son monitorear parámetros de proceso que deberían ser afectados por la modificación operacional de todos los digestores (total 10) de Planta Constitución, que deberían confirmar lo obtenido en el digestor de prueba (piloto), observándose principalmente un resultado de mayor flujo de recirculación, mejora en la distribución y homogenización del licor durante la cocción, lo que reduciría los problemas de obstrucción de los harneros mediante la disminución de velocidad del licor negro hacia los harneros, y en consecuencia mejorar la recirculación del licor dentro del digestor, reduciendo así también las canalizaciones del licor en su interior.

Dicha modificación debe consolidar una mejora operacional orientada a la uniformidad de la cocción, una mejor impregnación de álcali durante la etapa de cocción (deslignificación) en el digestor.

La verificación del efecto de las nuevas boquillas implementadas en cada digestor serán presentadas en forma gráfica comparativamente entre periodos antes de modificación y periodo después de modificación, donde las principales parámetros a monitorear en la producción global de todos los digestores son:

- Disminución dispersión del n° kappa
- Disminución el álcali efectivo (AE) dosificado por cocción
- Disminución no cocidos (o rechazos)
- Aumento del rendimiento de la madera
- Disminución de sólidos generados

4. MATERIALES Y MÉTODOS

En la definición antes de realizar una modificación global de los digestores de Planta Constitución, fue de probar en un digestor inicialmente, y de acuerdo a dichos resultados y su evaluación económica positiva, permitió definir la implementación de 2 nuevas boquillas en recirculación inferior de licor en todos los digestores existentes.

En primer lugar, se presenta la experiencia del digestor de prueba, en su estrategia de modificación física y los resultados obtenidos, para posteriormente presentar la estrategia de implementación de todos los digestores y sus resultados obtenidos en su conjunto como área de digestores.

4.1 Modificación de un digestor con proceso RDH a objeto de mejorar la uniformidad de la cocción

La primera etapa del objetivo de verificar el efecto de implementación de 2 boquillas adicionales en los digestores, fue implementar dicha modificación en un digestor de prueba (32-C-31), al cual fue modificado en sus boquillas, (ver Figuras 12 y 13), donde se aprecia un digestor con sus circuitos de recirculación y la cantidad de boquillas antes y después de la modificación.

El periodo de prueba con un digestor fué entre Enero 2009 y Diciembre 2010, periodo en el cual se inician la primeras mediciones tales como flujos de recirculación, temperaturas interior digestor, calidad de la pulpa, el número de kappa y el índice de rechazos desde la línea de descarga del digestor de prueba, lo que se comparó con la línea base sin la modificación de boquillas.

Adicionalmente, también se compararan la dosificación de álcali efectivo (consumo de licor Blanco) y los tiempos de cocción.

Dicha mejora operacional influirá en los siguientes parámetros del proceso:

- a) Disminución de álcali efectivo dosificado por cocción.
- b) Disminución en la dispersión del Kappa.
- c) Disminución en los rechazos.
- d) Aumento del rendimiento.

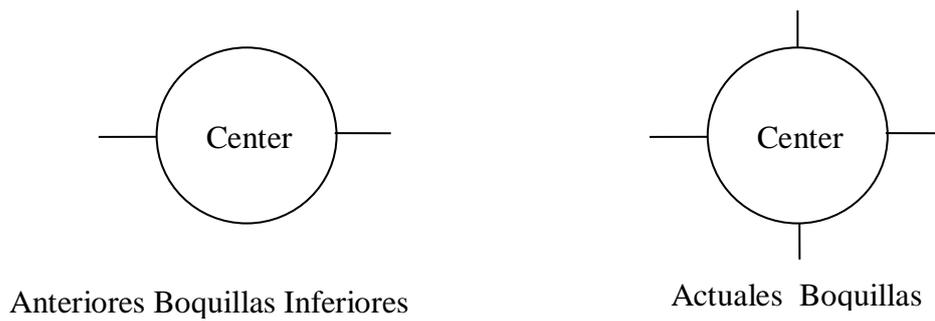


Figura 13. Boquillas succión harneros inferiores, actuales y futuros en digestores de Planta Constitución

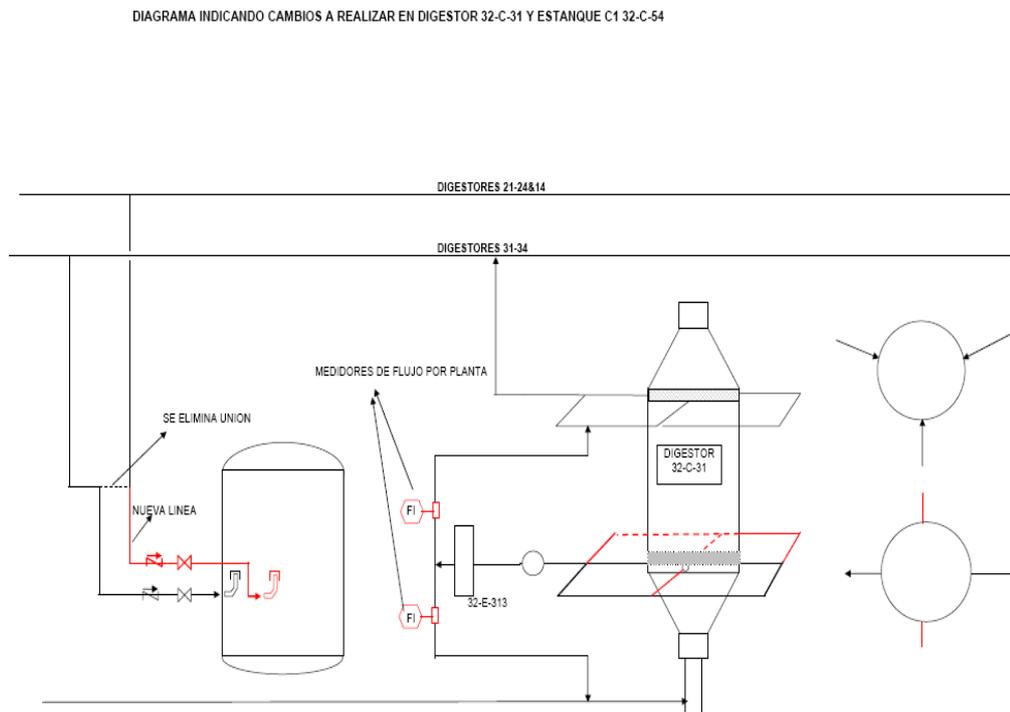


Figura 14. Esquema de modificación de boquillas succión y recirculación digestor de prueba, 32-C-31, y totalidad digestores de Planta Constitución.

4.2 Modificación de totalidad digestores Batch proceso RDH en Planta Constitución a objeto de mejorar la uniformidad de la cocción

De acuerdo a los resultados obtenidos en el digestor de prueba, y a su favorable evaluación económica, se definió modificar la cantidad de boquillas asociadas a los

harneros del centro inferior de los 10 digestores con proceso Batch RDH en Planta Celulosa Constitución.

La implementación de estas de boquillas en los harneros inferiores de los 9 restantes digestores, se inicio en mes de Noviembre 2010, para posteriormente continuar con un programa de intervenciones de acuerdo a oportunidad de detenciones generales del área Digestores, así como también, en ocasiones que la operación lo permitía. El área de digestores fué modificada entre el periodo Noviembre 2010 a Abril 2011, lo que ha permitido realizar hacer un seguimiento de variables de proceso, rendimientos y consumos en la medida que estos fueron modificados.

Estas modificaciones tienen como objeto de reducir la velocidad del licor hacia de los harneros, evitar que estos se sellen y en consecuencia mejorar la recirculación, reduciendo las canalizaciones en su interior. Estas modificaciones deben resultar en una mejora operacional orientada a la uniformidad de la cocción, rendimiento madera y optimizar los consumos de álcali.

En Figura 13, 14 y 15, se muestra un esquema general de los anillos superiores e inferiores del circuito de recirculación de licor de un digestor batch, cuyas boquillas de succión se aumentaron de 2 a 4 en la parte inferior.

En forma esquemática se presenta lo que se implemento en los harneros inferiores de la totalidad de digestores de Planta Celulosa Constitución.

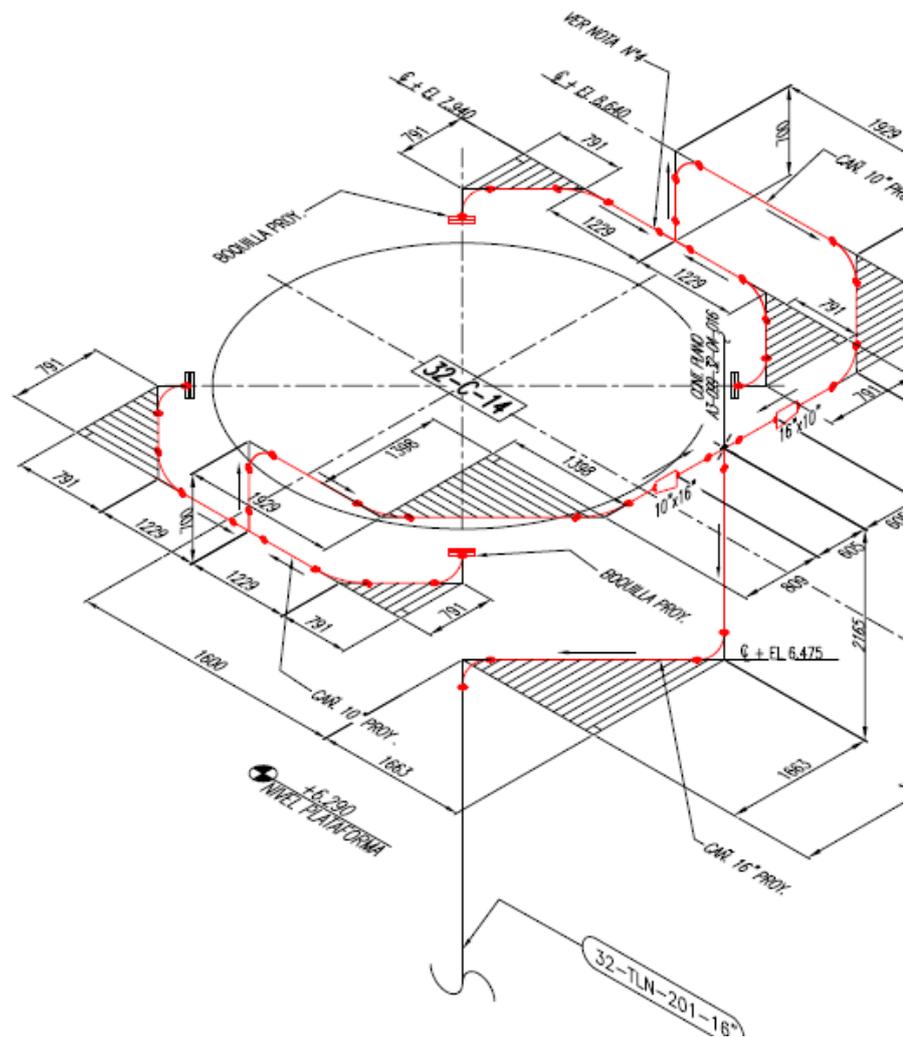


Figura 15. Esquema de sistema de boquillas succión en harneros inferiores de digestores RDH, instalando 2 nuevas boquillas en la totalidad de los digestores de Planta Constitución

En Tabla 3, se presenta las fechas de intervención de cada uno de los digestores, en la cual se registra que todos los digestores están modificados a Abril 2011, lo que permitiría hacer un seguimiento de variables de proceso, rendimientos y consumos con todos los digestores.

Tabla 03. Fechas intervención modificación boquillas de en líneas recirculación inferior en totalidad de digestores RDH de Planta Constitución

Cronograma modificación Digestores		
Identificacion	No Digestor	Fecha
32-C-31	1	02-mar-09
32-C-14	2	07-nov-10
32-C-24	3	09-nov-10
32-C-34	4	14-dic-10
32-C-23	5	18-ene-11
32-C-22	6	08-feb-11
32-C-33	7	15-mar-11
32-C-44	8	12-abr-11
32-C-21	9	14-abr-11
32-C-32	10	18-abr-11

5. RESULTADOS

5.1 Resultados operacionales y de calidad obtenidos en cocciones de un Digestor de Prueba (32-C-31), modificado en sus boquillas de líneas recirculación inferior, con procesos RDH en Planta Celulosa Constitución.

En la Tabla 4, se muestran los resultados obtenidos de las cocciones realizadas en el primer digestor modificado en sus boquillas de recirculación, indicando las condiciones operacionales, consumo de químicos y la calidad resultante de la pulpa obtenida.

Tabla 04. Resultados de las mediciones realizadas en el digestor de prueba modificado, 32-C-31 (Kappa Objetivo = 29)

ITEM	Unidad	Digestor	Digestor
		Antes Modificación	Después Modificación
Carga Astillas	T húmedas	49	51
Humedad Astilla	%	47,8	49,0
Madera Seca	T	25,6	25,8
Dosificación	KgAE/tms %	180	193
Tiempo Cocción	min	51,3	47,8
FH	---	416	448
T. Media Digestor	°C	165	168
T. Entrada l. Calor	°C	172,8	171,9
V. Licor Blanco	M ³	36,7	39,4
V. Licor Negro	M ³	416	441
Kappa	N°	29,5	24,5
Variación Kappa vs Target	N°	7,5	12,5
Rechazos Cocción	%	0,77	0,41
Cocciones Estudiadas	N°	26	17

De los resultados obtenidos posterior a la instalación de boquillas adicionales en el digestor de prueba, 32-C-31, al monitorear las cocciones de este digestor,

tanto en dosificación álcali, cargas de madera, tiempos de cocción y temperaturas, y realizando la comparación de variables de proceso y calidad, antes modificación y después de modificación, se puede comentar que:

5.1.1 Variación de Tiempos de Cocción

En el digester de prueba después de la modificación para mismas condiciones de kappas y Factores H objetivos, se redujo sus tiempos de cocción en 6.8 %,

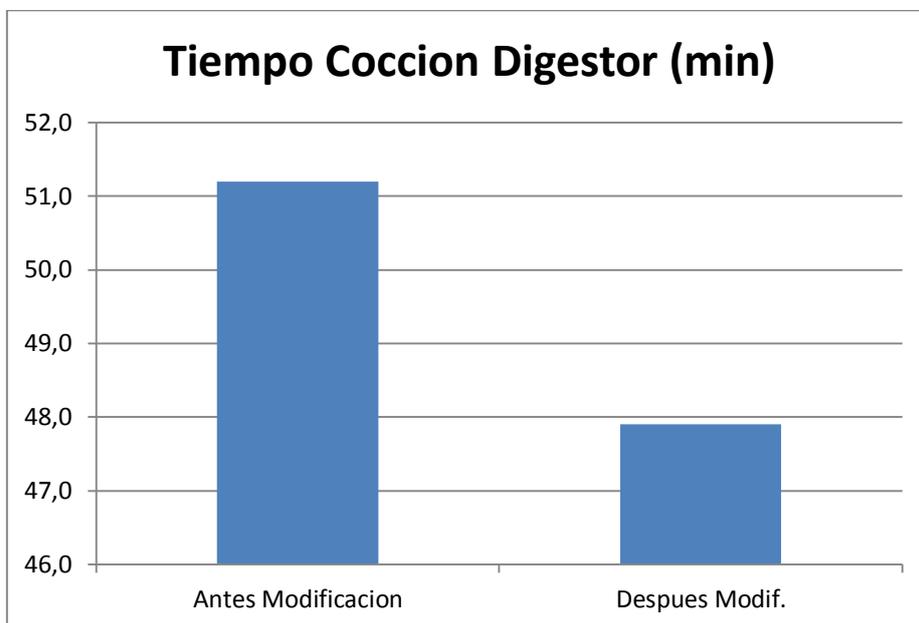


Figure 16. Variación de tiempos cocción en digester de prueba, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior en proceso RDH

5.1.2 Kappa final de cocción

En el digester de prueba, después de modificación para un Factor H objetivo similar se obtuvo un menor kappa en 17 %, comparado con kappa objetivo de 29.

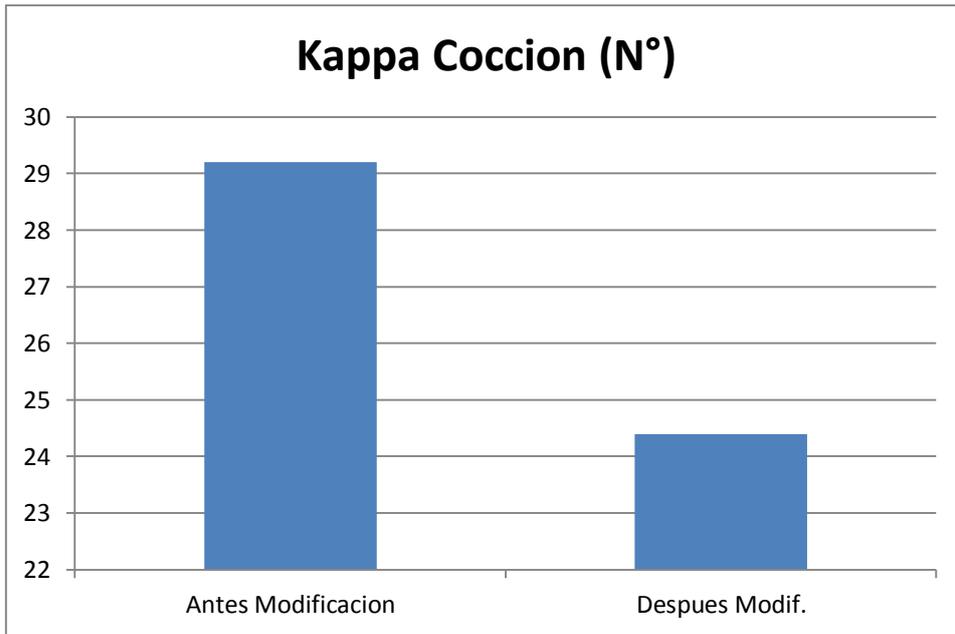


Figure 17. Variación de kappa en pulpa producida en digestor de prueba, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH.

5.1.3 Rechazos o nudos

En el digestor de prueba después de modificación se obtuvo una reducción de rechazos de 47 %.

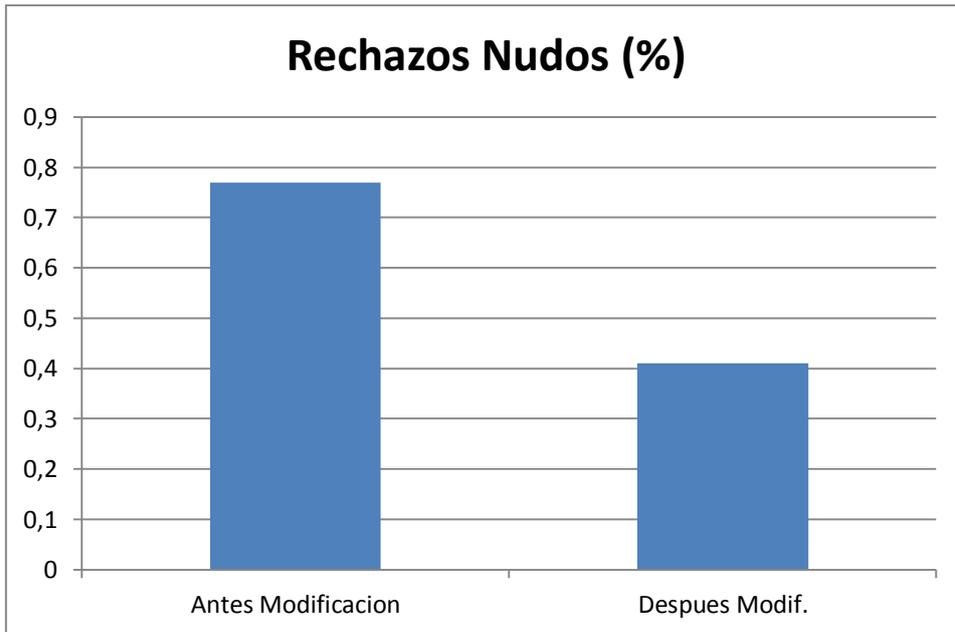


Figure 18. Variación de nivel de rechazos o nudos en pulpa producida en digestor de prueba, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH

5.1.4 Flujos recirculación superior e inferior

En digestor de prueba después de modificación, los flujos de recirculación superior e inferior medidos en el digestor modificado, aumentaron en un 11 % y 43 % respectivamente.

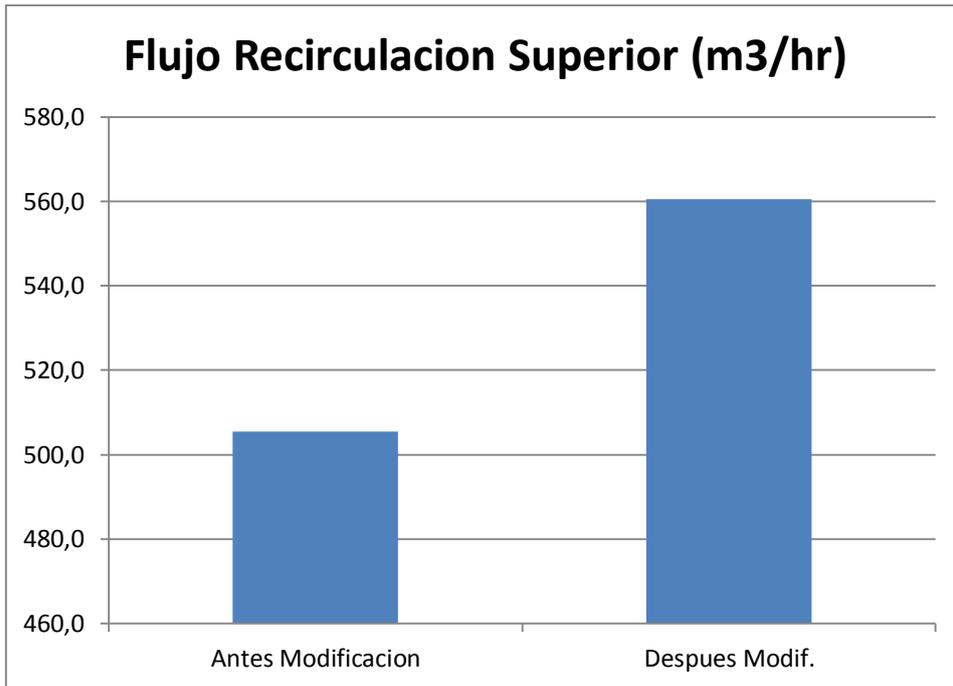


Figure 19. Variación medición de flujo Recirculación Superior en digester de prueba, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH

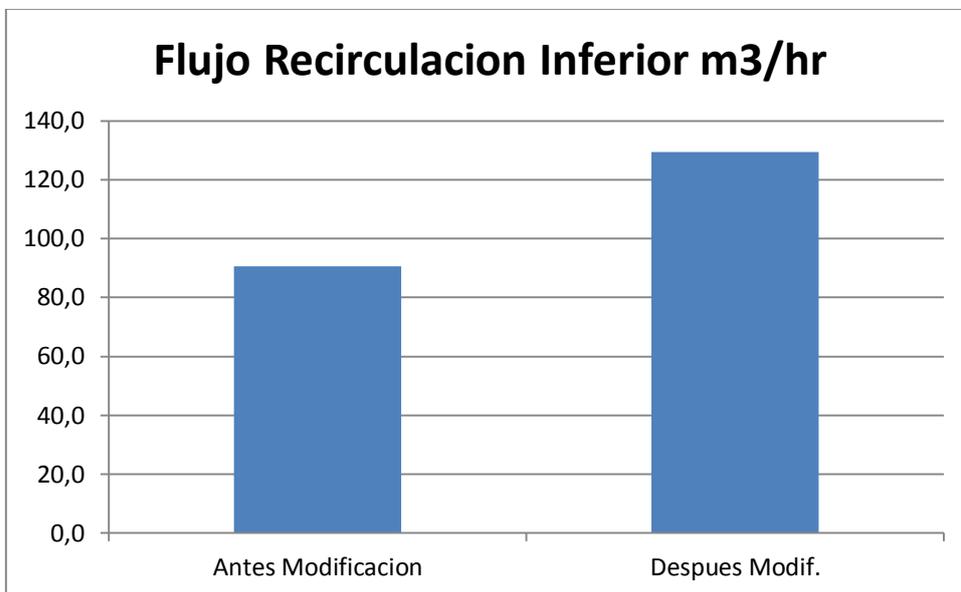


Figure 20. Variación de medición de Flujos de Recirculación Inferior en digester de prueba, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH

5.1.5 Perfil de temperaturas en Digester

En el digestor de prueba después de modificación, la temperatura durante el proceso de cocción, principalmente la temperatura del punto medio (zona intermedia) del digestor se observa más alta y más uniforme con el aumento de recirculación de licor en el interior del digestor, aumentado en 2,6 °C.

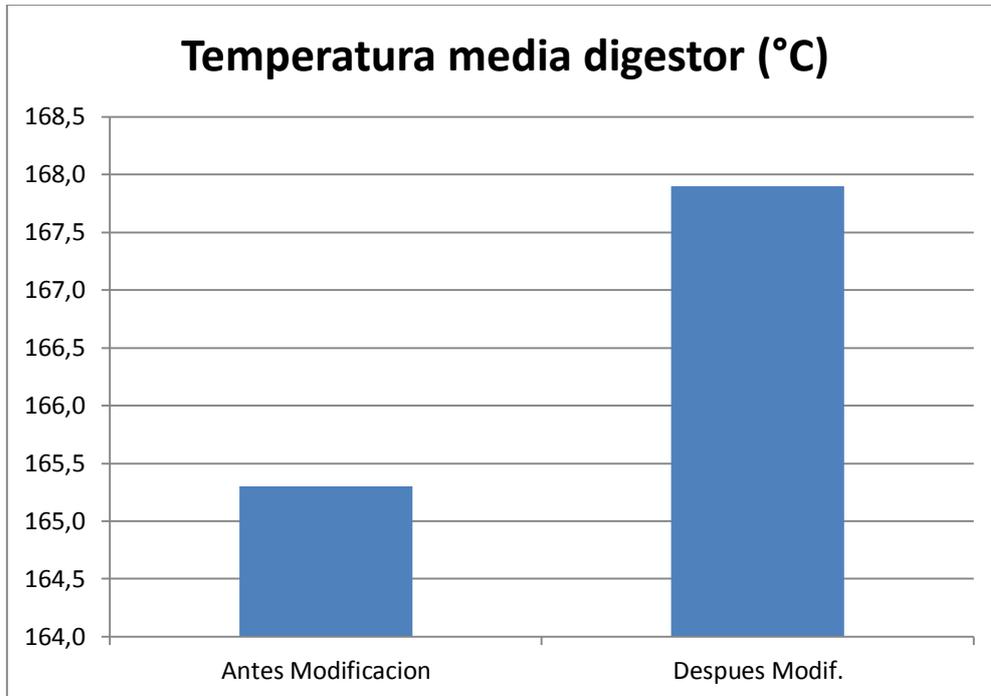


Figure 21. Variación de perfil de temperatura en zona intermedia en digestor de prueba, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH

5.1.6 Variabilidad del Número Kappa

En el digestor de prueba después de modificación, los resultados obtenidos durante las cocciones, para un mismo nivel de carga de álcali, los números kappas tendieron a ser muy bajos, en relación al mismo digestor sin boquillas adicionales, disminuyendo en un 16,5 %.

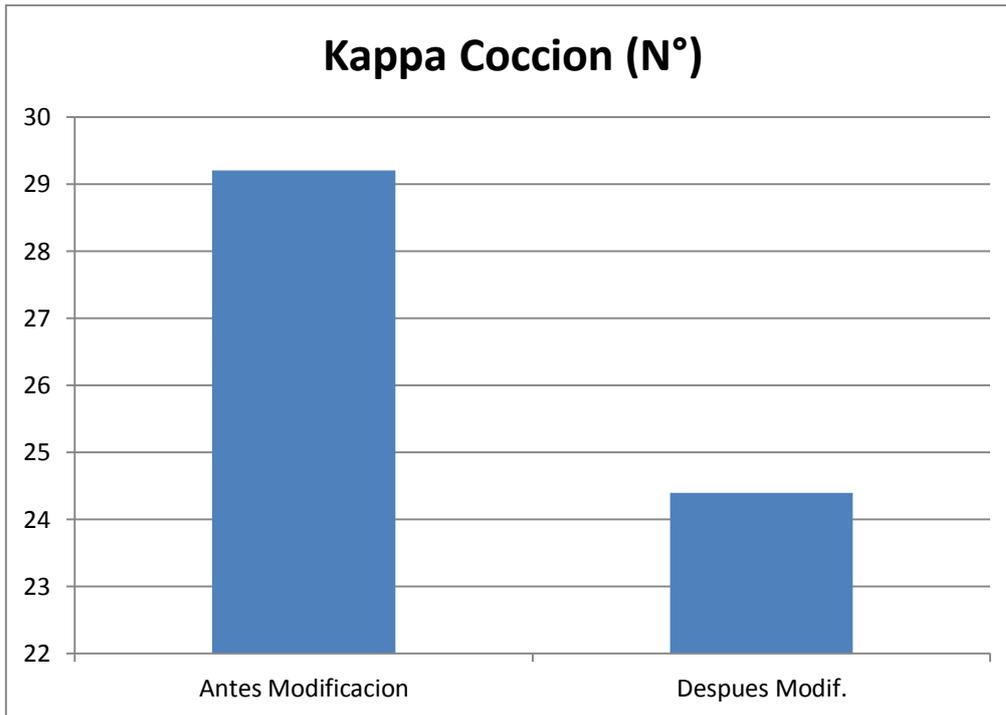


Figure 22. Variación de número kappa en pulpa producida en digestor de prueba, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH

5.1.7 Factibilidad económica de Modificación Boquillas

De acuerdo a este estudio, en el digestor de prueba, se estima que la madera obtiene una mejor impregnación del álcali durante la etapa de cocción en el digestor, obteniendo resultados obtenidos en digestor de prueba, se concluye que la implementación de dos nuevas boquillas da como resultado:

- Se disminuye el álcali efectivo (AE) dosificado por cocción
- Disminuye los no cocidos (o rechazos)
- Aumento del rendimiento de la madera
- Disminución de sólidos

Lo anterior, indica que la prueba fue favorable y cumple con los objetivos planteados preliminarmente. Por lo tanto, fundamenta la continuidad de la modificación a los nueve digestores restantes.

a) Beneficios del proyecto:

Tabla 5. Estimación de beneficios al considerar modificar la totalidad de los digestores (10) de Planta Constitución

VARIABLES EVALUADAS		Original	Modificado
Madera Entrada Digestor	ton	49	48,57
Rendimiento Madera	%	45,8	46,2
Número kappa	N°	30	30
Rechazos (no cocidos)	%	0,78	0,42
Pulpa producida	ton	22,44	22.44

b) Rentabilidad del proyecto:

De acuerdo a la información de las pruebas realizadas en el digestor 32-C-31, considerando las variables número kappa y cantidad de rechazo, y los beneficios asociados a estas, se proyecta un beneficio anual de US\$ 377.074.- debido al aumento en el rendimiento de la Madera en el digestor lo que resulta en una disminución de la alimentación de la madera al digestor estimada en un 0,9%.

Tabla 6. Rentabilidad del Proyecto considerando implementación boquillas adicionales en la totalidad (10) digestores de Planta Constitución

Periodo	años	10
Tasa Descuentos	%	10
Impuestos	%	17
Inversión Modificación	US\$	954.512
VAN	US\$	1.038.000
TIR	%	31.1

VAN: Valor Presente Neto: Los Flujos de Caja se deben descontar para llevarlos a la moneda equivalente del instante cero de evaluación.

TIR: Tasa Interna de Retorno: Es la rentabilidad anual del Proyecto ó la que entrega para el proyecto un VAN = 0.

En general, del análisis de estos resultados se desprende que al instalar 2 boquillas adicionales en el digestor, se tiene el efecto de que los flujos de recirculación de licor, durante la etapa de cocción se mantiene en valores más altos,

lo cual favorece el movimiento del álcali en la astilla y el proceso de deslignificación. Esto origina una sobredosificación aparente, que va acompañado de una disminución del número kappa, un menor rendimiento y por consiguiente una mayor generación de sólidos al circuito de licor.

El efecto anterior, se puede aprovechar reduciendo el álcali, de manera de subir el número kappa y con esto aumentar el rendimiento químico y reducir la generación de sólidos al circuito de licor, sobrecargando menor la Caldera Recuperadora y/o manteniendo un mayor ritmo de producción.

Además, con el análisis de factibilidad económica, se indica que es rentable hacer esta modificación en todo los Digestores de proceso cocción Batch RDH.

5.2 Resultados operacionales y de calidad obtenidos en cocciones de la totalidad de digestores (10), modificados en sus boquillas de líneas recirculación inferior, con procesos RDH en Planta Celulosa Constitución.

Para la presentación de los resultados, se definió considerar las variables y consumos de la operación de la totalidad de los digestores, comparando los datos obtenidos desde un periodo antes y después de la modificación, es decir, desde Enero 2009 en donde se tenía un digestor modificado, y periodo durante se realizaba la modificación del resto digestores, Noviembre 2010 a Abril 2011 en donde se tiene la totalidad de los digestores modificados. (datos de análisis de resultados incluyen también Mayo 2011).

En la Tabla 7, se entregan los resultados de las cocciones obtenidas en el periodo indicado, tanto en los requerimientos de químicos, nivel de rechazos, rendimiento de madera y sólidos generados.

Tabla 7. Resultados globales obtenidas en digestores modificados, condiciones operacionales, consumos de químicos, vapor y calidad de Pulpa

FECHA	RENDIMIENTO MADERA %	RENDIMIENTO COCCION Adt/Coccion	ALCALI EFECTIVO COCCION Kg/Adt	SOLIDOS GENERADOS TSS/Adt	KAPPA X N°	KAPPA X desv	RECHAZOS NUDOS %	DIGESTORES MODIFICADO N°
Ene-09	46,26	15,52	397,42	1,48	35	2,2		1
Feb-09	47,99	15,60	386,66	1,48	34	2,0		1
Mar-09	46,01		399,99	1,52	34	1,7		1
Abr-09	45,17	15,15	395,80	1,43	35	1,9	6,91	1
May-09	45,54	16,09	373,19	1,43	35	2,1	6,03	1
Jun-09	45,49	15,71	357,65	1,36	35	2,3	8,26	1
Jul-09	45,46	16,27	342,04	1,36	36	1,9	8,26	1
Ago-09	46,67	16,45	349,19	1,33	36	2,3	8,26	1
Sep-09	45,11	15,80	361,30	1,38	35	2,1	6,58	1
Oct-09	47,10	16,26	374,24	1,35	36	2,4	6,58	1
Nov-09	46,44	16,03	370,77	1,42	36	2,3	6,58	1
Dic-09	45,17	15,98	372,87	1,39	36	2,3	6,58	1
Ene-10	47,00	16,21	371,87	1,35	35	2,1	6,58	1
Feb-10	46,00	15,91	384,16	1,47	36	2,6	6,58	1
Jun-10	42,48	15,88	392,68	1,42	35	2,5	6,58	1
Jul-10	46,30	15,56	404,67	1,45	36	2,3	6,58	1
Ago-10	46,76	15,72	397,78	1,45	35	2,5	6,58	1
Sep-10	45,54	15,82	376,33	1,43	36	2,6	6,58	1
Oct-10	45,70	15,82	380,48	1,43	36	2,6	6,58	1
Nov-10	47,63	16,06	378,36	1,44	36	2,6	6,58	3
Dic-10	49,17	16,07	385,55	1,41	36	2,4	4,99	4
Ene-11	49,30	15,99	382,63	1,48	35	2,3	5,65	5
Feb-11	48,23	16,08	383,56	1,49	36	2,4	5,10	6
Mar-11	48,37	16,30	383,93	1,45	35	2,5	5,03	7
Abr-11	49,00	16,35	374,18	1,44	35	2,1	3,39	10
May-11	46,66	15,99	377,67	1,34	36	2,4	2,70	10
Jun-11	47,24	15,94	366,66	1,35	37	2,6	3,52	10

Los resultados que se presentan en las figuras siguientes fueron obtenidos durante las cocciones de todos los digestores antes, durante y posterior a la modificación, periodo entre Enero 2009 a la fecha actual, Junio 2011, las que fueron realizadas en igualdad de condiciones, tanto de dosificación álcali, cargas de madera y temperaturas,

5.2.1 Rendimiento Químico Madera

En relación al rendimiento químico de madera, en la pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH, se obtuvo un incremento de 3,8 %.

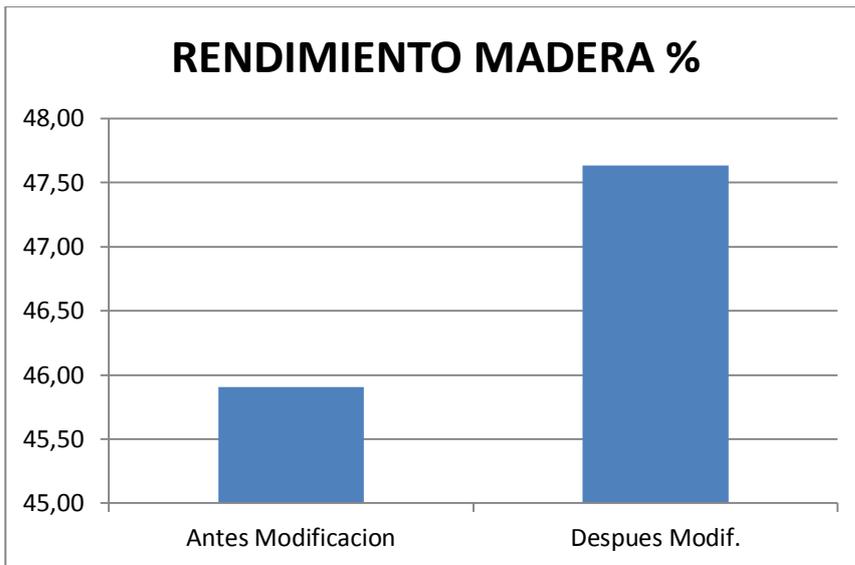


Figure 23. Variación de rendimiento madera%, en pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH

5.2.2 Rendimiento por cocción

En relación al rendimiento por cada cocción de digestores de pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH, se obtuvo un incremento de 1,4 %

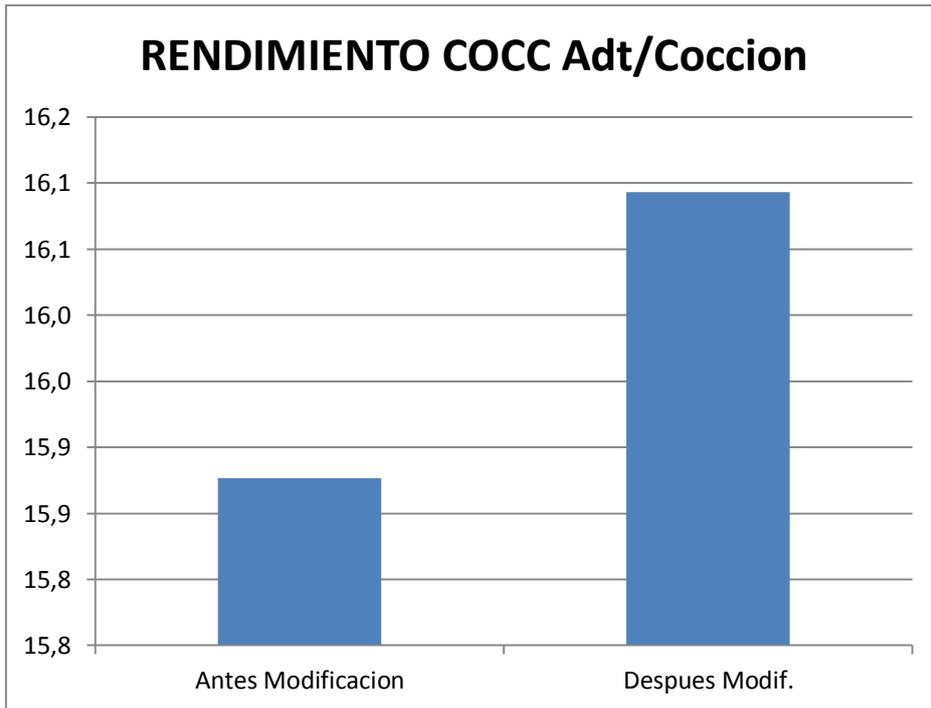


Figure 24. Variación de rendimiento por cada cocción de pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH

5.2.3 Generación de no cocidos, nudos

En relación a la generación de no cocidos o nudos en la pulpa producida en cocciones con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH, se obtuvo una reducción en un 53.5 %.

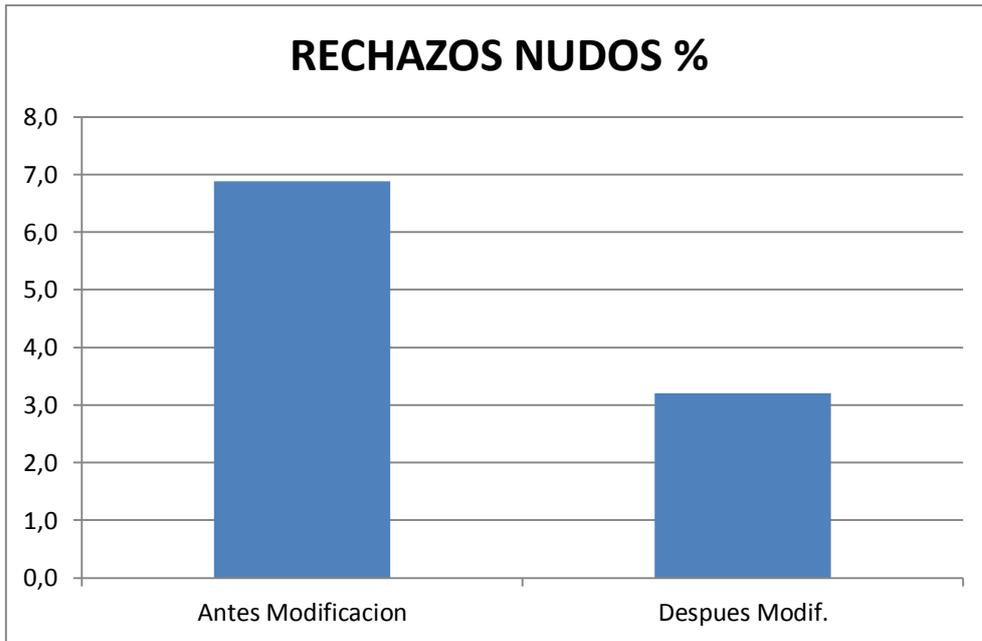


Figure 25. Variación de generación de rechazos o no cocidos (nudos), en pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH

5.2.4 Consumo álcali efectivo

En relación al consumo de álcali efectivo por cada cocción, para similar kappa objetivo en pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH, se obtuvo una reducción de 1,5 %.

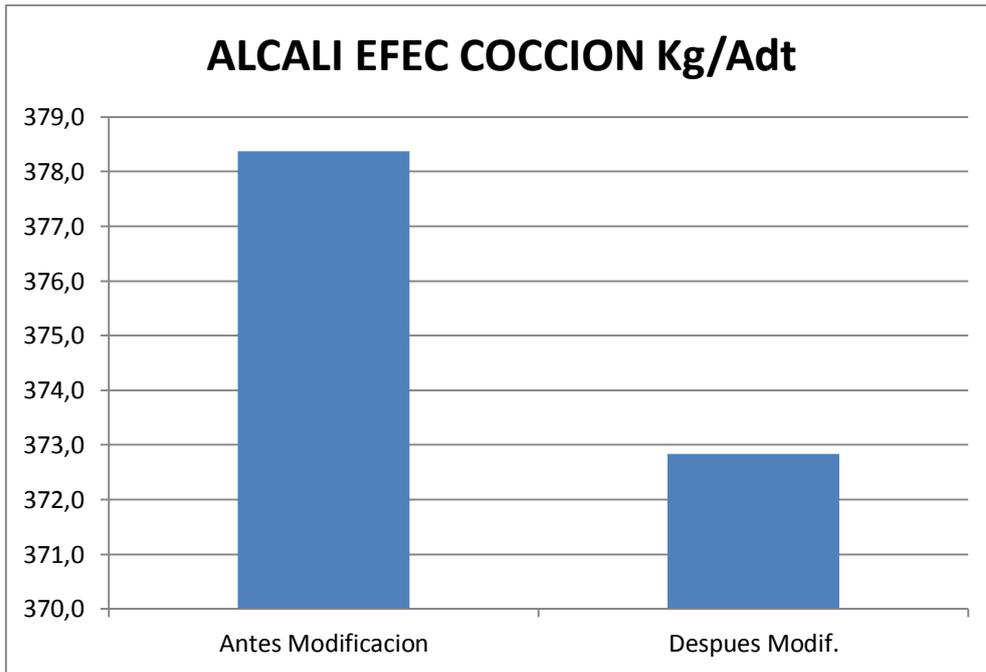


Figure 26. Variación de requerimiento de álcali efectivo por cada cocción, para similar kappa objetivo en pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH

5.2.5 Número Kappa

En relación al número kappa obtenido en pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH, se obtuvo un incremento de 1,8 %, lo que va a favor del rendimiento químico de la madera.

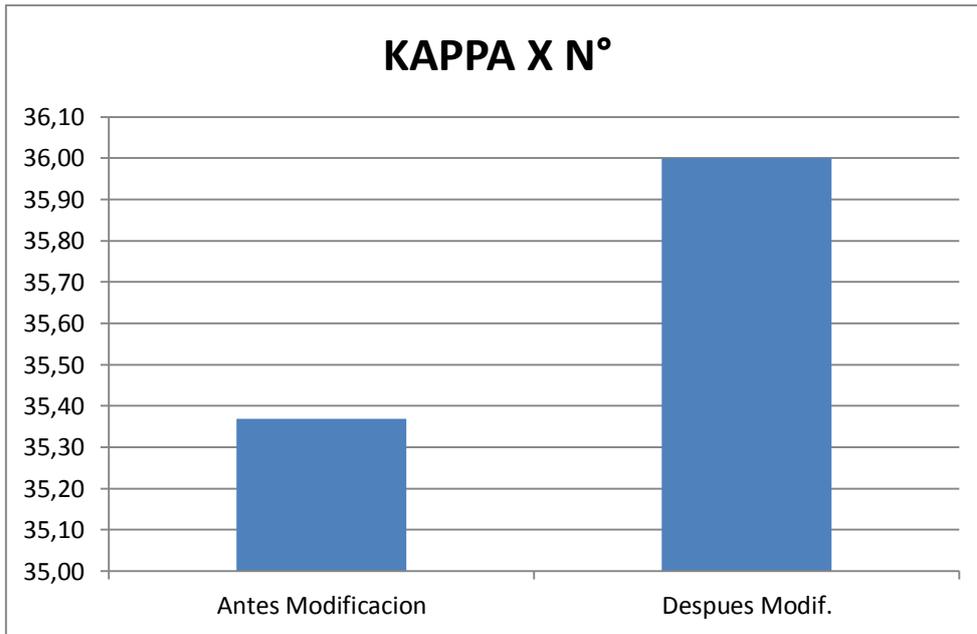


Figure 27. Variación de kappa en pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH

5.2.6 Desviación Número Kappa

En relación a la desviación del número kappa en pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH, se obtuvo un incremento en 5.3 %, lo que está relacionada con el incremento del kappa obtenido, pero con menor cantidad de rechazos,

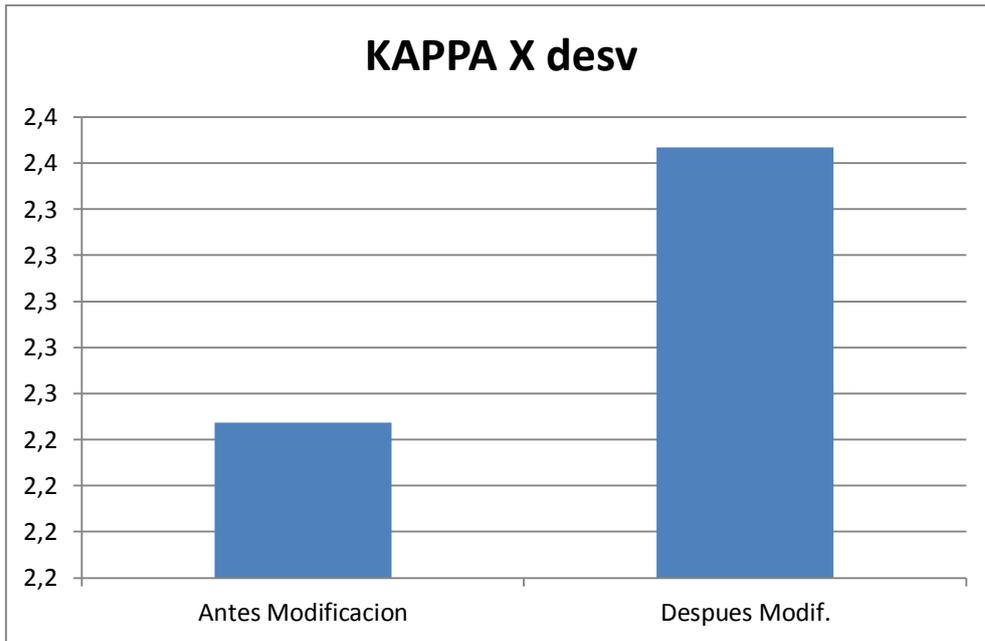


Figure 28. Variación de desviación de kappa en pulpa producida con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH

5.2.7 Sólidos Generados

En relación a los sólidos generados, en la producción de pulpa con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH, se obtuvo una importante reducción de 2,9 %, lo que permitiría mejorar la disponibilidad del área de Evaporadores, y con posibilidad de subir el ritmo de producción para compensar la reducción de sólidos.

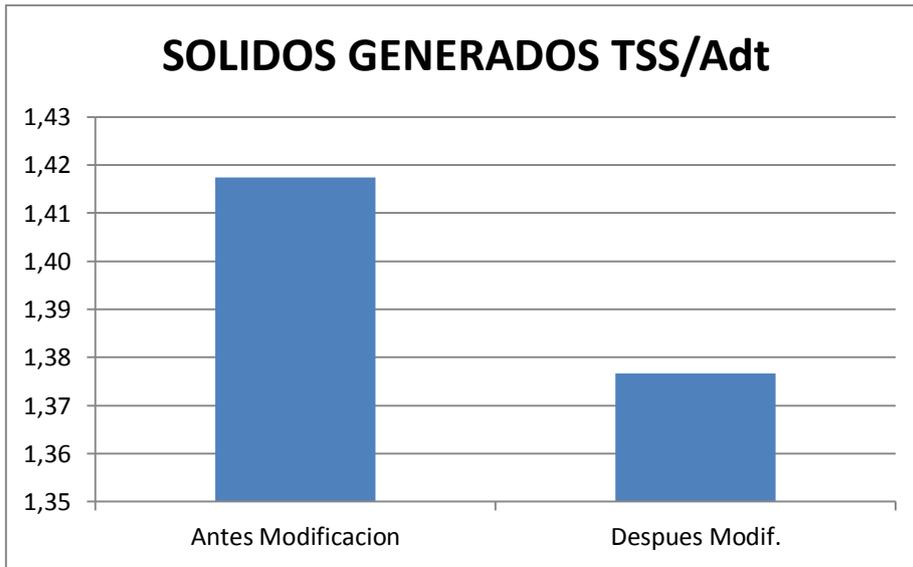


Figure 29. Variación de nivel de sólidos generados en producción de pulpa con la totalidad de los digestores, antes de modificación y después de modificación de boquillas succión licor en líneas recirculación inferior, con proceso RDH

6. DISCUSION DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos, se confirma que se repiten y confirman las ventajas encontradas en la experiencia con el digestor de prueba, al realizar cocciones con los 10 digestores modificados, resultado un proyecto exitoso y rentable hasta el momento de esta evaluación, considerando que aún se llevan 3 meses de que todos los digestores están operando juntos con la modificación.

El proyecto de instalar 2 boquillas adicionales en los digestores, se tiene el efecto de que los flujos de recirculación de licor tanto superior e inferior, durante la etapa de cocción se mantiene en valores más altos, lo cual favorece el movimiento del álcali en la astilla y el proceso de deslignificación. Esto origina una sobredosificación aparente, que va acompañado de una disminución del número kappa, un menor rendimiento y por consiguiente una mayor generación de sólidos al circuito de licor.

Lo anterior, hace concluir que para un mismo nivel de kappa objetivo o superior, se puede aprovechar en reducir el consumo de álcali, de manera de subir el número kappa y con esto lograr un mayor rendimiento de madera, obtener una disminución de nivel de rechazos por mejor impregnación y por consiguiente generar una menor cantidad de sólidos al circuito de licor, evitando sobrecargar la Caldera Recuperadora y manteniendo un mayor ritmo de producción.

Adicionalmente, se obtienen ventajas por el mejoramiento e incremento de 2.6 °C en la temperatura media del digestor, haciendo logre el Factor H objetivo se obtenga en menor tiempo, lo que permite la reducción de los tiempos de cocción, que amplía la posibilidad de realizar más cocciones en digestores o mejorar la disponibilidad del área.

El principal logro con esta modificación, es el de reducir drásticamente el nivel de rechazos o nudos en las cocciones en el proceso RDH, 53,% de reducción, que favorecen por consiguiente el incremento del rendimiento de madera y la producción por cada digestor producido. Junto a lo anterior, también se ve un leve efecto en la reducción del consumo de álcali efectivo por cada cocción que favorecería el incremento general de la disponibilidad del área de digestores de Planta Celulosa Constitución.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Respecto de los objetivos específicos de esta investigación e implementación industrial, se puede señalar que en la evaluación de cocciones de digestores con 2 boquillas adicionales, se obtiene un mayor flujo de recirculación, una mejora en la distribución y homogenización del licor durante la cocción, lo que reduce los problemas de obstrucción de los harneros mediante la disminución de velocidad del licor negro hacia los harneros, traduciéndose en que la madera obtiene una mejor impregnación del álcali durante la etapa de cocción (deslignificación) en el digestor.

Se disminuye de álcali efectivo dosificado por cocción:

En relación al consumo de álcali efectivo por cocciones de los digestores modificados, al mejorar el flujo de recirculación de licor en los digestores, favorece la disminución del AE dosificado en un 1,5 % (actualmente), causado por una mejor circulación e impregnación del álcali en las astillas, para un mismo nivel de kappa objetivo.

Se disminuye nivel rechazos ó nudos en cocción

En relación a la generación de no cocidos o nudos en las cocciones de los digestores modificados, al mejorar el flujo de recirculación de licor en los digestores, permite una mejor homogenización de la cocción, mejora la distribución e impregnación del álcali en las astillas, se generan menos rechazos. Por lo tanto finalizada la cocción, se reduce la cantidad de astillas “no cocida” para un mismo nivel de kappa o superior en un 53.5 % (actualmente). Adicionalmente, a la menor cantidad de rechazos, se obtiene un nivel de número kappa más alto que los anteriores, 37, con un valor de desviación de kappa levemente superior.

Se aumenta el Rendimiento Madera y disminuye generación sólidos

En relación a los sólidos generados y rendimiento madera en las cocciones de los digestores modificados, al mejorar el flujo de recirculación de licor en los digestores, permite mejorar la distribución del licor y álcali en los digestores, se homogeniza también la temperatura y la impregnación de la astilla, lográndose una cocción con menor generación de sólidos de 2,9 % (actualmente), mejorando con ello el rendimiento madera en 1,8 % para un mismo nivel de kappa objetivo, y como consecuencia evitando sobrecargar la Caldera Recuperadora.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

CELULOSA ARAUCO y CONSTITUCIÓN, PLANTA CONSTITUCIÓN, Informe Mensual Operacional, años 2009 a 2011. Constitución, Chile.

JOHAN GULLICHSEN and CARL-FOGELHOLM; UUSITALO, P., SVEDMAN, M. Batch cooking applications, Paper making Science and Technololy

MACLEOD, M. & JOHNSON, T., **Kraft pulping variables**. Tappi 1994 Kraft Pulping Short Course, Savannah, GA, May 22-25, 1994.

MALKOV, S. TIKKA P., GULLICHSEN J., Towards complete impregnation of Wood chips with aqueous solutions, part 3 Black Liquor penetration into pine chips.

McDONALD S; UUSITALO P; HILJANEN S., Perfomance of mil-scale superbatches displacement batch cooking systems, Paper presented at Pacific Paper Expo 1993 held at Vancouver, Canada.

MUÑOZ G. JUAN HUMBERTO, Modificación de un Digestor con proceso RDH a objeto de mejorar la uniformidad de la cocción, 2010 Tesis Universidad Vicosa, Brasil.

SVEDMAN M., TIKKA P., KOVAISIN K., The role in Displacement Kraft Batch Cooking, 1995 Pulping Conference Proceedings, Tappi Press, Chicago, USA.

WECKROTH R; HILJANEN S., Superbatch Cooking – from innovation to experience, 5th international conference on new available techniques. World pulp and Paper week, Stockholm, Sweden, 4-7 June 1996.

WIZANI W; HEPP M; SINNER M H, White liquor impregnation and down-flow displacement in kraf pulping, 12th International papermaking conference- progress 96, Lodz, Poland, 17-19 June 1996.