



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Rediseño, fabricación y montaje de  
una sección de secado en una línea  
de producción de papel**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Mecánico**

**P R E S E N T A**

Hugo Alejandro Barona Delgado

**ASESOR DE INFORME**

Dr. Leopoldo Adrián González González



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

# Índice

Dedicatorias .....	1
Introducción .....	2
Descripción de la empresa o medio en que labora.....	4
Historia Sonoco .....	4
Misión Sonoco .....	5
Labores desempeñadas en Sonoco molino Atizapán.....	5
Identificación de la necesidad.....	6
Definición del problema a resolver .....	7
Secadores y su impacto en el producto final .....	7
Requerimientos.....	10
Montaje .....	10
Compatibilidad .....	11
Modificaciones .....	11
Fabricación .....	12
Especificaciones .....	12
Montaje .....	12
Compatibilidad .....	13
Modificaciones .....	14
Fabricación .....	14
Diseño conceptual.....	16
Modelo de caja negra.....	16
Diagrama de funciones.....	17
Descripción del sistema de secado .....	17
Descripción del subsistema estructural .....	18
Generación de alternativas de solución para el subsistema estructural .....	19
Primer diseño de configuración .....	21
Segundo diseño de configuración .....	24
Memoria de cálculo.....	24
Montaje de secadores.....	27
Resultados .....	37
Conclusiones .....	38
Planos .....	39
Bibliografía .....	44

## Dedicatorias

Agradezco a mi familia por ser eternamente el pilar más importante en mi vida, por encaminar mi formación académica, por exigirme más allá de los límites, alentarme al crecimiento profesional e impulsarme en los retos que he tenido. A mi padre Arturo por ser el motivo de la Ingeniería en mi vida, a mi madre Rocío por ser el motivo de mis éxitos, a mi hermano Armando por ser mi fiel compañero de aventuras y enseñarme a remar mi propia canoa.

A mi compañera de aventuras Diana, por recordarme que estamos destinados a la grandeza  $19^{\circ}33'39''\text{N } 99^{\circ}7'7''\text{O}$ , siempre.

A mis compañeros de carrera Rafael, Johnny, Hermes, Nelly y Dimas por el apoyo, la confianza y las maravillosas experiencias que tuvimos juntos.

Al Ingeniero Abel Cerón, que me impulso al éxito y crecimiento profesional mediante la confianza en el trabajo realizado en planta.

A mi asesor de informe Dr. Leopoldo González que siempre se comportó de una manera profesional y propia, a mis sinodales por impulsarme en el camino de la Ingeniería.

Se agradece a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) por el apoyo proporcionado para la elaboración del presente informe de trabajo profesional, el cual corresponde a uno de los productos generados por el proyecto PAPIME: "Material didáctico para la asignatura Ingeniería de Diseño" (PE108415).

# Rediseño, fabricación y montaje de una sección de secado en una línea de producción de papel

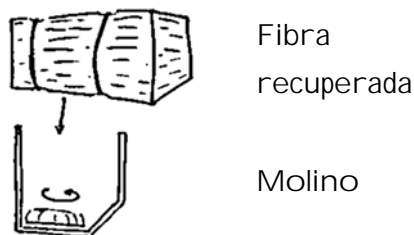
## Introducción

En la actualidad el uso del papel engloba una amplia gama de tareas que son de vital importancia para el público en general, éste puede encontrarse en diferentes presentaciones como lo son: hojas para impresión de textos, cuadernos, libros, agendas, bolsas para pan, papel china, papel crepé, cartulina blanca y de colores, vasos, envases de leche y/o jugos, servilletas, toallas de cocina, papel de baño, toallas sanitarias, cajas y tubos de cartón, entre algunos otros derivados. En la mayoría de los casos el papel que se usa a diario en sus diferentes presentaciones se fabrica a partir de coníferas y fibra recuperada, ésta última usada en mayor parte para la elaboración del llamado papel médium, teniendo otras clasificaciones dependiendo el gramaje que se presente.

Este informe escrito se basará esencialmente en el proceso de desmontaje, montaje y alineación de una sección de secado de papel médium, utilizando como nueva herramienta de secado 7 rodillos secadores de 0.9144 [m] de diámetro y 2.8448 [m] de longitud de flecha, los cuales remplazaron a rodillos secadores de menor longitud de flecha y mismo diámetro. Donde para el montaje de los nuevos rodillos se debió ampliar y reducir aproximadamente en 0.250 [m] distintos dispositivos que conforman ésta primera sección de secadores.

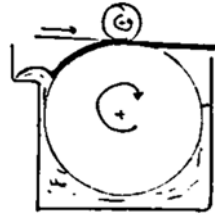
En general la elaboración del papel médium se fundamenta en una serie de procesos que involucran los siguientes puntos:

- **Recepción y separación de fibra recuperada:**  
En este proceso el papel se adquiere, se mide humedad y dependiendo el tipo de fibra, se separa para el uso en los diferentes molinos.
- **Molienda:**  
En este proceso el papel ingresa a los diferentes molinos, los que están destinados a diferentes capas del papel, como se muestra en la Figura 1.
- **Limpieza:**  
Se lleva a cabo dentro del molino, retirando la basura que por naturaleza de los materiales reciclados se debe extraer.



*Figura 1. Proceso de inserción de fibra al molino: la materia separada previamente se ingresa al molino junto con agua, un dispositivo que se encuentra acoplado a los molinos separa parte de la suciedad que pudiera contener la fibra recuperada, la suciedad restante se separa mediante otros dispositivos que se encuentran en la línea de flujo del papel.*

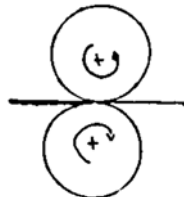
- **Formación de hoja:**  
Se lleva a cabo mediante el uso de distintos fieltros de tela en movimiento y rodillos que impregnan delgadas capas de pasta a este mientras realiza su recorrido. Como se muestra en la Figura 2.



Sección de formadores

*Figura 2. Proceso de formación de hoja: la pasta se transporta una vez limpia a contenedores, en los que un rodillo hueco con una superficie de malla, capta la pasta y la adhiere mediante ayuda de otros rodillos al fieltro, éste proceso se realiza cierta cantidad de veces dependiendo del gramaje a fabricar.*

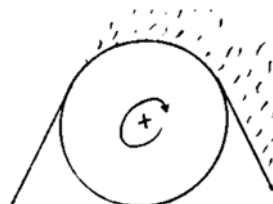
- **Prensado:**  
Se lleva a cabo mediante rodillos que comprimen la hoja expulsando de esta manera la mayor cantidad de agua posible, al final de ésta sección el grado de sequedad se sitúa sobre el 40-50%, por consiguiente la hoja puede sostenerse por sí misma para el siguiente proceso. En la Figura 3 se nota una capa de papel gruesa a la entrada a éste proceso, y a la salida se nota una capa de papel más delgada.



Sección de prensas

*Figura 3. Proceso de prensado: mediante el uso de rodillos a presión se extrae el agua que contiene el filtro, la fibra debe mantenerse acoplada al filtro, al salir de las secciones de prensado, la hoja se separa del filtro para realizar la siguiente etapa en la producción del papel.*

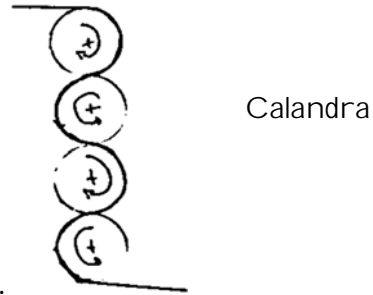
- **Secado de hoja:**  
La sección de secado consta de una serie de cilindros calentados mediante vapor sobre los que pasa la hoja de papel. Los cilindros se disponen de modo que contactan primero con un lado del papel y luego con el otro para garantizar su homogénea deshidratación, con una sequedad aproximadamente del 90-95%, dependiendo del tipo de producto elaborado. En la Figura 4 se representa el proceso de secado y la expulsión del agua en forma de vapor que pertenecía a la hoja.



Sección de secadores

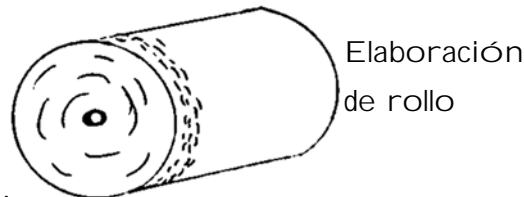
*Figura 4. Proceso de secado de hoja: mediante rodillos huecos calentados por vapor de agua, se transporta la hoja, estas secciones de secado conservan diferentes temperaturas para asegurar un secado homogéneo de hoja. En general los secadores de giran mediante el uso de engranes.*

- **Satinado en calandra:**  
El papel se satina para proporcionarle su acabado final, la función de la calandra consiste en corregir anomalías.



*Figura 5. Calandra: este dispositivo consta con diferentes rodillos a presión en los que se eliminan defectos como arrugas que pudiesen presentarse en la hoja, además se agregan compuestos para dar un satinado al papel.*

- **Elaboración de rollo:**  
Mediante el control de calidad, se aprueba el papel para continuar al siguiente paso.



*Figura 6. Elaboración de rollo: en éste proceso se captan muestras de papel para llevar al control de calidad, por lo que no todos los rollos elaborados serán funcionales para distintas tareas, los rollos aceptados se mandan al siguiente proceso, los rollos no aprobados se ingresan nuevamente al molino.*

- **Bobinado y cortado del papel:**  
En éste proceso al papel aprobado se le retiran los bordes, se realizan cortes adicionales y enrolla según las especificaciones del cliente final.

## Descripción de la empresa o medio en que labora

### Historia Sonoco

Sonoco es un negocio estable y en crecimiento desde hace más de 115 años, cuyas raíces pueden remontarse a “Southern Novelty Company” que fue fundada en South Carolina el 10 de mayo de 1899.

El primer producto que lanzó esta empresa al mercado fue el portador de hilo a base de papel en forma de cono, el que se utiliza para enrollar y transportar el hilo. En esos días la mayoría de conos textiles eran fabricados de madera, por lo que la compañía se convirtió rápidamente en líder productor de conos en Estados Unidos.

Southern Novelty Company continuó diversificando su línea de productos y agregando nuevas operaciones alrededor de los Estados Unidos. En 1923, Southern Novelty Company cambió de

nombre a “Sonoco Products Company” o “Sonoco”, usando las primeras dos letras de cada palabra del nombre original.

Desde entonces, la empresa Sonoco ha continuado en crecimiento, siendo ahora una multimillonaria empresa de negocios globales de cuatro segmentos:

- Industrial
- De consumo
- Soluciones de protección y visualización
- Embalaje

### Misión Sonoco

Sonoco tiene la intención de ser el líder mundial en el suministro de alta calidad, innovación y creación de valores en soluciones de embalaje que satisfagan al consumidor.

### Labores desempeñadas en Sonoco molino Atizapán

Mis labores desempeñadas en Sonoco fueron completamente referentes al proyecto de reconstrucción de la primera sección de secadores de vapor, las cuales incluyeron como primera instancia la alternativa de solución para la ampliación de la máquina, realizando una propuesta de estructural que soportaría el peso de la máquina, incluyendo cálculos, elaboración de LAYOUT, simulaciones mecánicas del comportamiento de las estructuras y juntas informativas con los gerentes de planta y director de proyectos a nivel Latinoamérica de Sonoco.

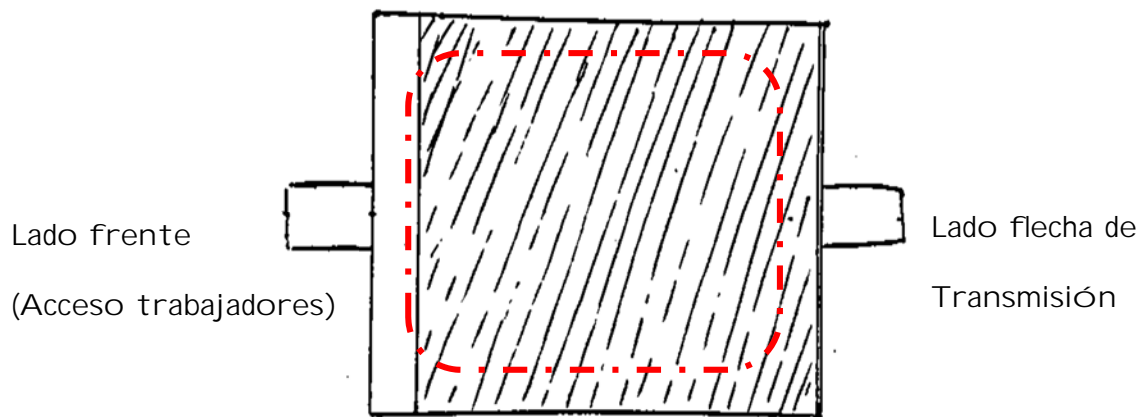
Una vez aceptada la alternativa de solución, se llevó a cabo la fabricación de dichos arreglos estructurales, nombrándolos como base 1, base 2, base 3 y base 4. Realicé el seguimiento del proyecto realizando diseño asistido por computadora, especifiqué el orden de los elementos de la primera sección de secadores, realicé cálculos para elementos adicionales de la primer sección de secadores, diseñe un medio de transporte para los rodillos secadores, rediseñé un soporte para la flecha de transmisión, apoyé en el desmontaje de la primer sección de secadores, colaboré en el montaje de la nueva sección de secadores, alineación de máquina y puesta en marcha dentro del parámetro de tiempo establecido. Debido a que la reconstrucción de la primera sección de secadores no fue el único proyecto en marcha durante el paro de máquina de 7 días, la responsabilidad total de la primera sección de secadores recayó en el equipo de trabajo del cual formaba parte.

Cabe señalar que la máquina genera ganancias netas aproximadamente de 25,000 [Pesos/h], el presupuesto invertido solamente en éste proyecto fue de \$3,975,096.50 [Pesos] y que el retraso de labores era algo que de ninguna manera podía ser tolerado.

## Identificación de la necesidad

Al final de la línea de producción de “Manufacturas Sonoco S.A. de C.V.” en el “Molino Atizapán”, se generaba una arruga en el extremo del rollo del lado donde se encuentra la flecha de transmisión (ilustrado en la sección “elaboración de rollo” de la Figura 6). Dicha arruga se generaba debido a humedad como resultado de un mal proceso de secado y por consiguiente esa sección del rollo era inutilizable y debía ser mandada al molino nuevamente para su reutilización, teniendo como resultado un porcentaje de pérdida para cada rollo de papel que fuera aprobado por el control de calidad; después del análisis de calandra y cada una de las secciones de secadores, se encontró el problema en toda la primer sección de secadores.

El problema detectado corresponde al área de contacto en el transcurso de la hoja de papel con los rodillos secadores, como se muestra en la Figura 7; al encontrarse la hoja en el extremo de los rodillos, no puede secarse de la misma manera que se realiza el secado al centro del rodillo. El secado difiere debido a la geometría y el flujo de vapor que se presenta dentro de estos rodillos.



*Figura 7. Hoja no centrada dentro del área en la que se contiene el vapor para un rodillo de la primera sección de secado.*

Cabe señalar que la primera sección de secadores impulsada mediante el uso de engranes rectos, contenía rodillos más cortos que los utilizados en las demás secciones de secadores, la hoja no podía ser desplazada para que ésta quedara al centro de los rodillos debido a que involucraría una inversión mayor en el área de formadores y prensa; el piñón y el engrane en contacto con éste presentaban un desgaste sumamente considerable (ver Figura 8), además mediante mediciones realizadas con teodolito, se llegó a la conclusión que la primer sección de secadores se encontraba desalineada respecto a la línea de centro de la máquina. Lo que arrojaba como resultado que la hoja al ingreso de la máquina se encontrara holgada del lado transmisión y tensa del lado frente.





Engrane de secador # 6 en contacto con piñón



Engrane de secador # 6 en contacto con engrane de secador # 5

*Figura 8. Engrane de secador #6 en diferentes puntos de contacto. Se aprecia claramente el desgaste debido a que el paso, número de dientes y perfil de los engranes instalados en los secadores supuestamente son iguales.*

## Definición del problema a resolver

Realizar la reconstrucción de la primer sección de secadores de vapor para minimizar las pérdidas generadas para cada rollo de papel, utilizando rodillos de secado con una longitud mayor (adquiridos con anterioridad), alineando la máquina, disminuyendo el desgaste de los engranes rectos y la holgura presentada en la hoja del lado transmisión.

## Secadores y su impacto en el producto final

Dentro del papel existen tres formas en las que se encuentra el agua:

Libre: ésta agua forma la suspensión y llena los espacios huecos encontrados entre las fibras. La forma en la que se elimina éste tipo de agua es mediante fuerzas de inercia, fuerzas hidrodinámicas, fuerzas hidrostáticas, fuerzas de presión, vacío, presión mecánica y secada por evaporación.

Impregnación: éste tipo de agua humedece la superficie de las fibras que ya forman la hoja. Se elimina mediante presión mecánica y secado por evaporación.

Hidratación: ésta agua llena los poros y las áreas abiertas de las fibras. El único método para eliminar ésta agua es mediante el secado por evaporación.

En el secado por evaporación se eliminará una mínima cantidad de agua, esta agua será la más difícil de extraer y por ende, tendrá un costo elevado el llevar a la hoja hasta una humedad entre el 5 y

8%, el cual es el rango necesario para los procesos posteriores del papel. Este secado se lleva a cabo cuando el papel húmedo se pone en contacto con una superficie caliente, incrementa su temperatura y de esta manera se elimina dicho porcentaje de agua que se encuentra en las fibras.

El proceso consiste en pasar el papel sobre la superficie de un rodillo hueco que es calentado internamente mediante vapor. El calor se transfiere por la pared del rodillo hasta su superficie, la cual al tocar el papel, aumentará la temperatura y de esta manera se eliminará casi en su totalidad el agua. El papel rodeará parte de todos y cada uno de los cilindros secadores que componen el sistema de secado.

Existe otro sistema de secado por medio de vapor compuesto por una única etapa, es decir, en lugar de un sistema de múltiples etapas de secado con el uso de diferentes secadores, únicamente se utiliza un secador llamado “secador yankee” generalmente se encuentra en el proceso de elaboración del papel “tissue” (papel higiénico), el empleo de este secador se debe al espesor de la hoja elaborada. Debido a lo anterior, se conoce que la cantidad de rodillos secadores que conforman un sistema de secado dependerá en esencia del tipo y espesor del papel que se desee fabricar.

En general, cualquier tipo de rodillo secador consiste en un cilindro de hierro cuya superficie es pulida, en el extremo de la flecha del lado transmisión se encuentra el conducto de entrada de vapor, en este caso, en el mismo extremo se encuentra el conducto de salida de condensado (Figura 9 (A)). En la cara del lado frente se encuentra un registro o tortuga, que sirve para controlar la presión dentro del secador, y ocasionalmente para revisar y dar mantenimiento al sifón (Figura 9 (B)). Los secadores nuevos tienen una longitud de centro de rodamientos mayor a la longitud de los secadores que se encontraban operando anteriormente, que fue aproximadamente de 12 [pulgadas]; en el Plano 1. Detalles de secadores adquiridos para el proyecto “Rediseño, fabricación y montaje de una sección de secado en una línea de producción de papel” de la página 39, se encuentran los detalles de longitud total, longitud entre centros de rodamientos, registro y conducto para vapor y condensado.



(A)



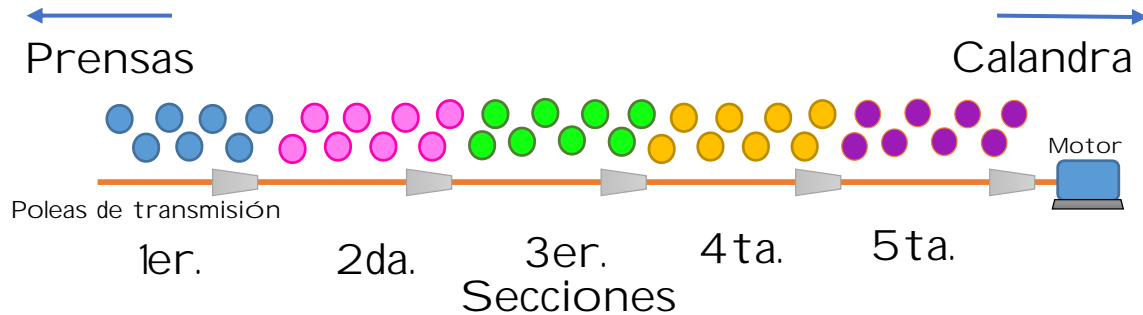
(B)

*Figura 9. A) Flecha del secador en el lado transmisión, la cual contiene el conducto de vapor y condensado.*

*B) Secador lado frente mostrando la tortuga.*

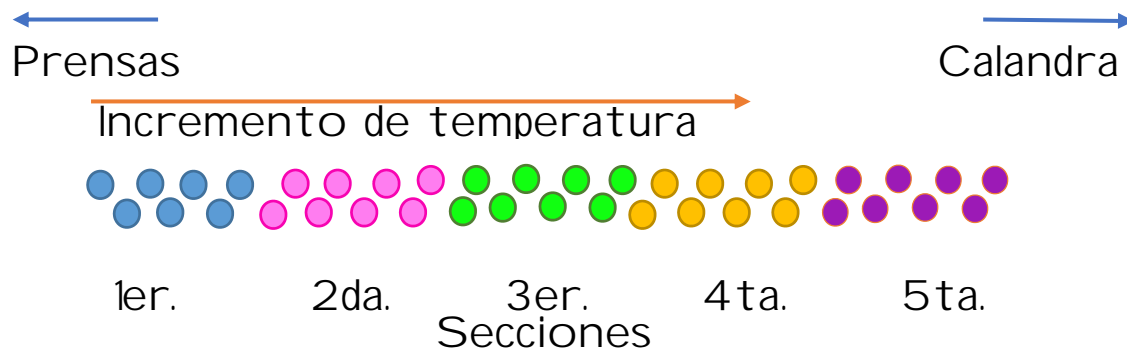
El sistema de secado por evaporación divide a los secadores para darles movimiento, debido a que sería demasiado difícil mover a todos los secadores mediante un solo elemento de transmisión y la razón más importante, estas secciones no pueden correr a la misma velocidad, porque en el transcurso de secado, el papel sufre una elongación en el sentido de la máquina, siendo de mayor

velocidad la sección más lejana a la sección de prensas, en otras palabras, la sección de mayor velocidad es la que se encuentra más cercana a la calandra. Para modificar la velocidad de cada una de las secciones de secadores se utiliza un arreglo de poleas y bandas, para aumentar la velocidad se mueve la banda al lado de menor diámetro de la polea de acción, la polea seguidora moverá entonces un sistema de engranes, logrando el movimiento uniforme de la sección deseada; se moverá la banda al lado de mayor diámetro de la polea de acción para disminuir la velocidad. A esta diferencia de velocidad se le denomina tiro. En la Figura 10 se muestra el arreglo de secadores y poleas a través una única flecha de transmisión.



*Figura 10. Representación de las distintas secciones de secadores de vapor*

Además de la diferencia de velocidades en las diferentes secciones de secadores, es importante recalcar la diferencia de temperaturas en las secciones de secadores. La temperatura deberá aumentar durante el transcurso de secado, es decir, la sección más cercana a la sección de prensas tendrá la menor temperatura e irá aumentando en la trayectoria de la línea de secado (a excepción de la sección 5 la cual se encuentra a una temperatura intermedia entre la sección 4 y 3), como se muestra en la Figura 11. La sección 5 es usada para el control de temperatura de hoja.



*Figura 11. Representación del incremento de temperatura en las diferentes secciones de secadores.*

La manera lógica del secado de papel sería aumentar la temperatura al máximo en las diferentes secciones de secadores, sin embargo al realizar ésta acción afectaría las propiedades cualitativas y cuantitativas del papel. Por lo que en la Figura 12 se describe la distribución de temperatura en las diferentes secciones de secadores.

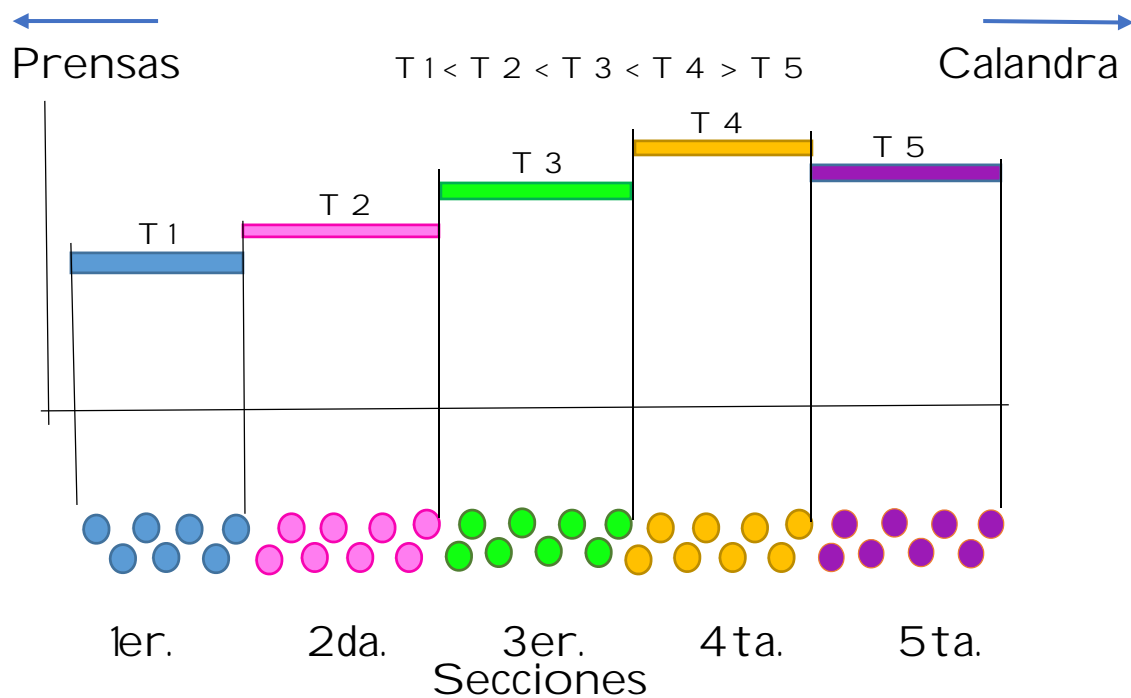


Figura 12. Distribución de temperaturas en las diferentes secciones de secadores en una línea de papel.

En conclusión el incremento de temperatura así como la diferencia de velocidades de las secciones de secadores deberán ser controladas y progresivas, esto hará que el agua de impregnación y el agua de hidratación se lleven hasta su punto de evaporación de forma progresiva sin dañar a la fibra ni al papel.

### Requerimientos

A partir de la investigación de campo, experiencia de ingeniería, juntas con el director de diseño y con los gerentes de la planta, análisis de información y uso de herramientas CAD, se presentan a continuación los requerimientos del proyecto agrupados en 4 áreas principales:

- Montaje
- Compatibilidad
- Modificaciones
- Fabricación

### Montaje

El proyecto de reconstrucción de la primera sección de secadores de vapor, se realizó en un tiempo estimado de 7 días y se contó con la colaboración de los trabajadores de Sonoco Atizapán (el personal del primer turno de 6am-2pm y del segundo turno de 2pm-10pm). Los requerimientos más significativos en ésta área se explican a continuación:

- **La primera sección de secadores de vapor debía alinearse respecto a la segunda sección de secadores**, debido a que en estudios realizados para la empresa mostraban que la primer y segunda sección de secadores así como la última sección de prensas se encontraban desalineadas entre sí como se muestra en la Figura 13.



Figura 13. Desalineamiento de las distintas secciones, sólo la segunda sección de secadores se mantiene alineada respecto a la línea de centro.

- **El desalineamiento se planeó corregir mediante el uso de un “rodillo pescante”** a la entrada del papel en la primer sección de secadores de vapor, de esta manera la hoja podrá mantenerse tensa del ambos lados y no generaer arrugas o un mal proceso de secado.
- En el sentido vertical, **realizar todas las maniobras de abajo hacia arriba**, es decir primeramente realizar las tareas en la cimentación e ir subiendo cuando el objetivo en el que se trabajó se haya realizado satisfactoriamente.
- En el sentido horizontal, **realizar las maniobras de montaje a partir del punto más cercano a la segunda sección de secadores y terminando en el punto más cercano a las secciones de prensas.**
- El montaje se visualizó con la **menor cantidad de maniobras** posibles, esto se pensó debido a la cantidad de trabajadores que se presentasen a las labores tomando en cuenta las fechas decembrinas.
- Se buscó que para los trabajadores, las **maniobras fueran lo más intuitivas posibles**, previniendo la ausencia de algún ingeniero a cargo.
- **Se utilizaron piezas que se tuvieran en existencia**, como lo son: rodamientos, manguitos, separadores, chumaceras, engranes, coples y por supuesto los nuevos rodillos secadores.

### Compatibilidad

Para los distintos elementos que se diseñaron en la primera sección de secadores se tuvieron distintos requerimientos de funcionamiento debido a que las maquinarias requerían funcionar sin afectarse entre sí. Los requerimientos para los elementos que se diseñaron en éste proyecto fueron los siguientes:

- **Acoplarse al entorno**, esto debido a que el espacio con el que se contaba previo a la ampliación de la primera sección de secadores era reducido.
- **Acoplarse a la cimentación** de la planta.
- **Forma de sujeción a la cola de milano** ya que es el único lugar al cual se puede anclar la estructura que se diseñó.
- **Acoplar los engranes a reductor de velocidad mediante flecha de transmisión.**

### Modificaciones

Después de realizar juntas con los directivos de Sonoco y los gerentes de mantenimiento y producción se llegó a los siguientes requerimientos respecto a las modificaciones para la primera sección de secadores de vapor:

- Las modificaciones **únicamente se realizaron del lado transmisión.**
- El diseño que se realizó para la ampliación de la primera sección de secadores contemplo el **cambio de las menores piezas posibles en la estructura original.**
- Era necesaria le **demolición del concreto en el que se apoyaba la base de la flecha de transmisión anterior,** esto debido al mal estado en el que se encontraba.

### Fabricación

La fabricación se realizó mediante la ayuda de trabajadores externos de Sonoco, cuya especialización es el corte y soldadura por lo que los requerimientos fueron los siguientes:

- Todos los elementos que se diseñaron se calcularon para la **fabricación con un acero de bajo carbono.**
- Los elementos diseñados se **basaron en perfiles comerciales,** así como espesores comerciales.
- Se realizó un **medio de transporte para los rodillos secadores,** debido a que las grúas viajeras con la que se contó no tienen acceso en el espacio existente entre la sección de secadores y al área destinada a las maniobras por montacargas.
- Se fabricó una **base destinada a la flecha de transmisión,** debido a que la anterior base contaba con enmendaduras.
- Los elementos fabricados mantuvieron **similitud en propiedades mecánicas y geometrías.**

**En conclusión de los requerimientos anteriormente presentados, se diseñó un sistema estructural en el que se previó el uso de rodillos secadores con una longitud de flecha mayor, que no afectara la estructura superior del lado transmisión y además se previó su instalación sobre la cola de milano posicionada en la cimentación.**

### Especificaciones

Una vez que fueron determinados los requerimientos para el proyecto de reconstrucción de la primera sección de secadores de vapor, se definieron las especificaciones para cada uno de los requerimientos.

### Montaje

Para fines técnicos en el Plano 2. Numeración de rodillos y medidas antes de la reconstrucción de la primera sección de secadores de la página 40, se muestra la numeración que se lleva para cada uno de los secadores, siendo el secador 1 el que tiene contacto por primera vez con la hoja de papel y el secador 7 el último rodillo en tener contacto con la hoja de la primera sección de secadores, el primer secador de la segunda sección de secadores fue nombrado como secador número 8.

Para corregir el desalineamiento de los secadores, se tomó como referencia el secador 8 para la instalación del secador 6, debido a que el secador número 6 es el secador del nivel inferior más cercano a la segunda sección, este fue el más indicado para empezar el montaje, además en ambos extremos de las flechas de los rodillos se conservó una distancia conocida.

El desalineamiento de las secciones de prensas respecto a la primera y segunda sección de secadores como se muestra en la Figura 14, se solucionó con el uso de un rodillo pescante, el cual puede inclinarse mediante el uso de opresores set, la inclinación del rodillo es aproximadamente de 10-20 milímetros (diferencia entre opresores set), sin embargo, la hoja de papel al ser aun húmeda, dictará la inclinación de éstos opresores manteniéndose tensa de un lado y holgada de otro lado, o bien, rompiéndose a la entrada de la sección de secadores. La hoja idealmente debe mantenerse tensa tanto del lado frente como del lado operación.

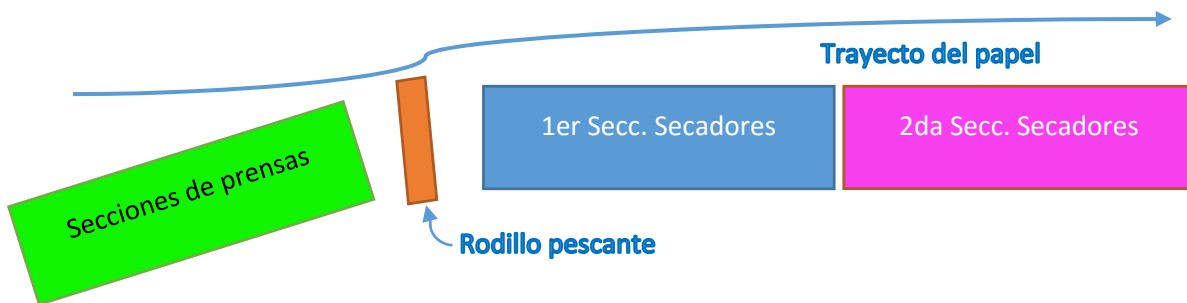


Figura 14. Colocación de rodillo pescante para realinear el trayecto de la hoja.

El proceso de montaje se realizó instalando los rodamientos, separadores, chumaceras y engranes en los rodillos secadores antes de ser transportados al área de la primera sección de secadores, cabe resaltar que todos los elementos fueron numerados y de esta forma las maniobras se minimizaron en el proceso de montaje, realizando una única maniobra con grúa. Además al numerar los elementos y dividir el montaje en 5 etapas, la instalación se volvió intuitiva al saber la posición en la que se debían ensamblar las piezas, a continuación se enlistan las etapas de instalación:

- 1er etapa:  
Montaje de elementos estructurales en contacto con cimentación, como lo es la estructura a diseñar y la base para la flecha de transmisión (también llamada mancuerna).
- 2da etapa:  
Montaje de rodillos 6, 4 y 2 en ese orden, debido al requerimiento de instalación de elementos cercanos a la segunda sección de secadores e ir instalando posteriormente los elementos más alejados a ésta.
- 3er etapa:  
Instalación de elementos estructurales superiores que poseen forma de T (también llamados pedestales).
- 4ta etapa:  
Instalación de rodillos 7, 5, 3 y 1, de igual manera para cubrir el requerimiento de instalación de piezas cercanas a la segunda sección de secadores.
- 5ta etapa:  
Instalación de elementos estructurales superiores y poleas.

### Compatibilidad

Para el diseño de todos los elementos se tomó en cuenta el espacio disponible, es decir, no se afectó el funcionamiento de otros equipos cercanos, además, en el caso de la nueva estructura que se diseñó, se unió a la cola de milano de la cimentación en ésta sección de la máquina, mediante el uso de tornillos de cabeza cuadrada de  $\varnothing 7/8" \times 4"$ , con tuerca de  $\varnothing 7/8"$ , roldana plana y de presión, todo en Grado 5.

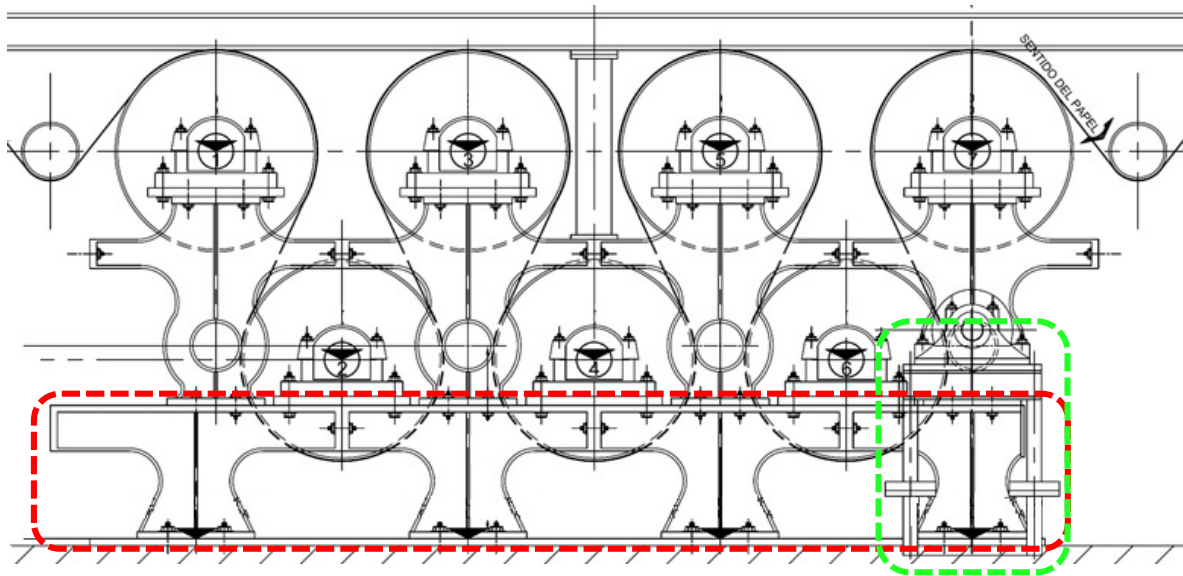
Para la transmisión de la sección de secadores, el cliente indicó que se usara una flecha de transmisión con un diámetro y material exactamente igual al de la flecha de transmisión usada anteriormente. El cliente pidió a otra compañía la fabricación de la flecha con las mismas características. El diámetro de la flecha es de  $2 \frac{15}{16}"$ , para el uso de rodamientos de rodillos cónicos, manguitos de fijación y chumaceras de una marca reconocida de éste tipo de piezas, además en ésta flecha se montó un piñón de 28 dientes y un cople de denominación F13. El único



aspecto a diseñar fue la longitud de la flecha de transmisión, que se obtuvo mediante la ayuda de una herramienta CAD, la longitud de la flecha fue de 40”.

### Modificaciones

Las modificaciones realizadas únicamente fueron del lado transmisión de la máquina, contemplando las menores modificaciones posibles, es decir, se diseñó la estructura inferior del lado transmisión de la máquina y la estructura para la flecha de transmisión, como se resalta en la Figura 15.



*Figura 15. Vista del lado transmisión de la anterior sección de secadores  
En rojo: Estructura a diseñar para la sección de secadores (solo lado transmisión)  
En verde: estructura a diseñar para la flecha de transmisión*

Cabe señalar que los elementos que se encuentran encima de la estructura resaltada en rojo de la Figura 15 tanto del lado frente como del lado transmisión poseen un peso de 18,600 [kg].

La estructura en color verde de la Figura 15 será diseñada, contemplando un cambio en el concreto que la sostiene, ya que el concreto anterior, se encontraba en mal estado debido a malas condiciones de fraguado. El nuevo concreto, por el requerimiento en días de instalación, fraguó en un tiempo de 3 días, pedido a una compañía dedicada a la venta de concreto.

### Fabricación

La fabricación de las piezas diseñadas se realizó con perfiles comerciales, usando un acero de bajo carbono con denominación AISI 1008: esfuerzo de fluencia 170 MPa, esfuerzo último 305 MPa y módulo de elasticidad 200 GPa. Los elementos que se fabricaron para éste proyecto fueron las estructuras de la primera sección de secadores, la estructura para la flecha de transmisión y un carro para el transporte de los secadores con capacidad de 4 toneladas. La estructura del carro de transporte y de la base de la flecha de transmisión se fabricó a partir de placa de 5/16, 3/4 y viga rectangular de 4” y rodajas con capacidad de 1000 [kg].

Todos los elementos estructurales se fabricaron similares geoméricamente hablando, además de calcularse para un factor de seguridad de 2, los elementos diseñados se sometieron a simulaciones mecánicas para corroborar su desempeño.



En la Tabla 1 se presenta la traducción en términos cuantitativos de la información obtenida a partir de los clientes así como diversos estudios.

	<b>Requerimiento</b>	<b>Especificación</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Montaje</b>	Alinear respecto a la segunda sección	Distancia entre flechas de secador 6 y 8	2043 [mm]
	Corregir desalineamiento	Uso de rodillo pescante.	Posición dictada por la hoja
	Sentido de maniobras	Instalación de máquina por etapas, para instalación intuitiva.	1er etapa: Montaje de elementos estructurales en contacto con cimentación 2da etapa: Instalación de rodillos 6,4 y 2 3er etapa: Instalación de elementos estructurales de los rodillos superiores 4ta etapa: Instalación de rodillos 7, 5, 3 y 1 5ta etapa: Instalación de elementos estructurales superiores y poleas
	Menor cantidad de maniobras	Uso de grúa para instalar cada rodillo	1 movimiento/rodillo
	Piezas en existencia	Utilizar rodamientos	Rodamientos de rodillos secadores: 22230 CCK, rodamientos flecha de transmisión: 22217 EK, manguitos de fijación para flecha de transmisión: HA 317, chumaceras para secadores: SAF 230, chumaceras para flecha de transmisión: SNL 517, engranes y piñón con el mismo paso al que manejaba la anterior sección de secadores. Acoplamiento de flecha de transmisión con reductor de velocidad: F13 (de una marca reconocida de coples)
	<b>Compatibilidad</b>	Acoplarse a la cimentación	Uso de tronillos de cabeza cuadrada, con tuerca, roldana plana y de presión, todo en grado 5.
Acoplar engranes a reductor de velocidad		Uso de flecha de transmisión	Flecha de transmisión $\varnothing$ 2 15/16" x 40" Cople F13 Piñón 28 dientes 3 1/2" de ancho Chumaceras SNL 517 Rodamientos 22217 EK Manguitos de fijación: HA 317 Separador indicado para ésta chumacera

Modificaciones	Realizar cambios en lado transmisión y menores piezas posibles	Cambios realizados en la estructura inferior de los secadores del lado transmisión y en estructura para flecha de transmisión	Peso de elementos que soportan ambas estructuras inferiores de la máquina: 18,600 [kg] Peso de elementos de estructura de flecha de transmisión: 120 [kg]
	Demolición de concreto anterior de estructura de flecha de transmisión	Demolición y colado de nuevo concreto para flecha de transmisión	Uso de concreto con un tiempo de fraguado de 3 días
Fabricación	Uso de elementos comerciales	Placas, tornillos, vigas, varillas.	Cálculos con factor de seguridad igual a 2.
	Uso de acero de bajo carbono	Acero serie AISI 1008	Esfuerzo de cedencia 170 MPa Esfuerzo último 305 MPa Módulo de elasticidad 200 GPa
	Transporte de secadores	Fabricación de carro de transporte	Fabricación en placa de 5/16" Rodajas con capacidad de 1000 kg Viga de perfil rectangular 4"

Tabla 1. Especificaciones para la reconstrucción de la primera sección de secadores

## Diseño conceptual

En la siguiente sección se pretende entender el proceso de solución del problema, haciendo especial énfasis en que el diseño crea la necesidad de realizar muchas decisiones o escoger entre varias alternativas, además de ser un proceso interactivo y de ramificación. En ésta sección se busca dividir el proceso de solución del problema en dos grandes grupos para realizar el mejor proceso de diseño:

- a) Sugestión e ideas para realizar un proceso de pensamiento de manera más ordenada.  
(Diagrama de caja negra y diagrama de funciones)
- b) Técnicas matemáticas para la toma de decisión.  
(Matrices de decisión, matrices morfológicas)

## Modelo de caja negra

En esta etapa se proponen las funciones necesarias para lograr transformar del estado inicial al estado final deseado, que puede ser representado con un modelo de caja negra. Para la primera sección de secadores, se tiene que el estado inicial es energía cinética (flecha de transmisión), energía calorífica (vapor de agua) y la hoja de papel húmeda, mientras que el estado final es el secado homogéneo del papel, lo cual se representa en la Figura 16.

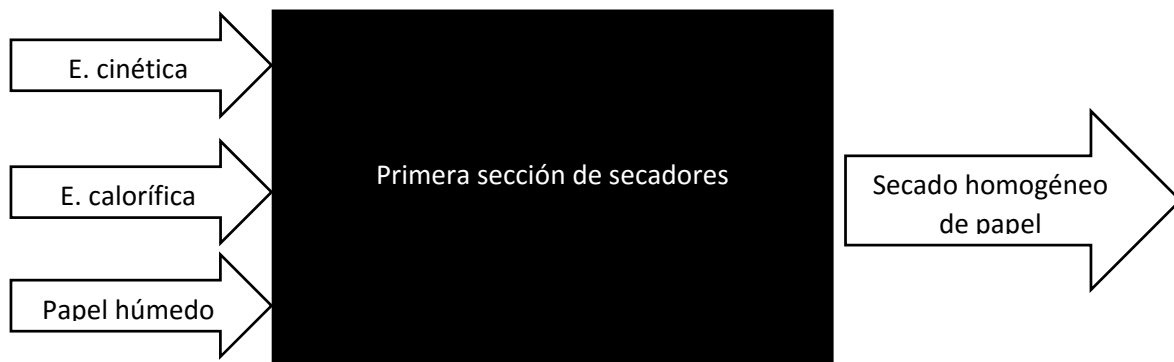


Figura 16. Diagrama de caja negra.

### Diagrama de funciones

Para realizar el secado del papel de manera homogénea del papel sin dañar las fibras se identificó un único sistema, el cual recibirá como entradas energía cinética debido a la flecha de transmisión, energía calorífica debido a la fuente convencional en éstas plantas: vapor de agua y por supuesto, la hoja de papel húmeda (también llamada “hoja tierna” antes de su ingreso al área de secado).

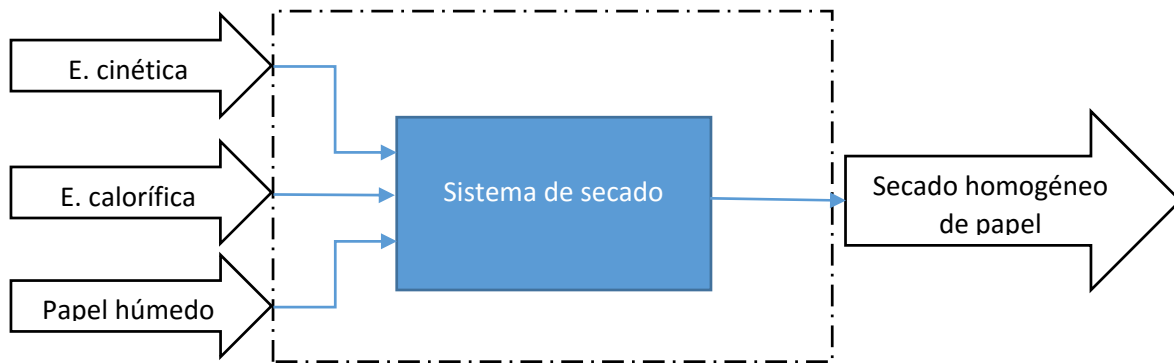


Figura 17. Diagrama de funciones para la primera sección de secadores de vapor

### Descripción del sistema de secado

El sistema de secado es un conjunto de subsistemas encargados de realizar un secado homogéneo de la hoja de papel para su uso en futuros procesos, se tienen en cuenta que es de suma importancia generar papel de calidad y minimizar las pérdidas por merma, además el sistema de sacado debe conservar las propiedades de las fibras que forman la hoja. De la búsqueda de información se sabe la distribución de temperaturas a las que el papel se somete antes de su proceso de enrollado.

Existen gran variedad de subsistemas que comprenden el sistema de secado con diferentes entradas de energía, por ejemplo:

- subsistema de lubricación: ayuda a mantener un nivel adecuado de aceite dentro de las chumaceras.
- subsistema de ajuste de velocidad mecánico: ayuda a modificar los tiros cuando el papel se genera después de que la máquina se encuentra parada. Esto mediante la ayuda de una polea cónica existente entre la flecha de transmisión de la máquina y la flecha de transmisión de la sección de secadores.
- subsistema de guía de papel: éste subsistema se encarga de guiar al papel en su trayecto dentro de la sección de secadores y evita que los usuarios intervengan en dicho proceso, esto mediante un arreglo de cuerdas guías ubicadas en un extremo de los diferentes

rodillos secadores. Un pedazo inicial de papel queda prensado y guía a la hoja a través de las demás secciones de secadores.

- Subsistema de ajuste de cuerdas guías: éste subsistema se encarga de tensar las diferentes cuerdas guía mediante pistones neumáticos y poleas.
- Subsistema de extracción de humedad: éste es un sistema que utiliza aire caliente como medio de extracción del aire húmedo que genera el secado de la hoja. Al extraer el aire húmedo, se evita que el condensado humedezca parcialmente al papel.
- Subsistema de transferencia de calor: éste es el cargado de insertar vapor de agua a los secadores y mediante presión extraer el condensado que exista dentro de éstos.
- Subsistema de transmisión: éste es el encargado de transmitir la energía cinética de la flecha de transmisión de la máquina a la primera sección de secadores mediante el uso de embrague, reductor de velocidad, cople y engranes.

Como se menciona anteriormente, estos son ejemplos de subsistemas del sistema de secado, cada uno de los sistemas citados anteriormente se encuentran perfectamente bien definidos, el único subsistema que se definió fue el subsistema estructural.

#### Descripción del subsistema estructural

Este subsistema es el que se verá afectado por la ampliación de la longitud de flecha de los rodillos secadores y el posicionamiento de la cola de milano, en el Plano 3 de la se muestra la distancia entre los centros de la cola de milano con 2367 [mm], cabe señalar que la distancia entre centros de chumacera es bastante similar a la distancia entre centros de la cola de milano. Se sabe mediante el Plano 1 que la distancia entre centro de chumaceras para los rodillos secadores nuevos es de 2551.176 [mm], por lo que la ampliación de la primera sección de secadores fue de 184.176 [mm]. Éste subsistema, al ser el de mayor importancia será el detallado en el presente trabajo.

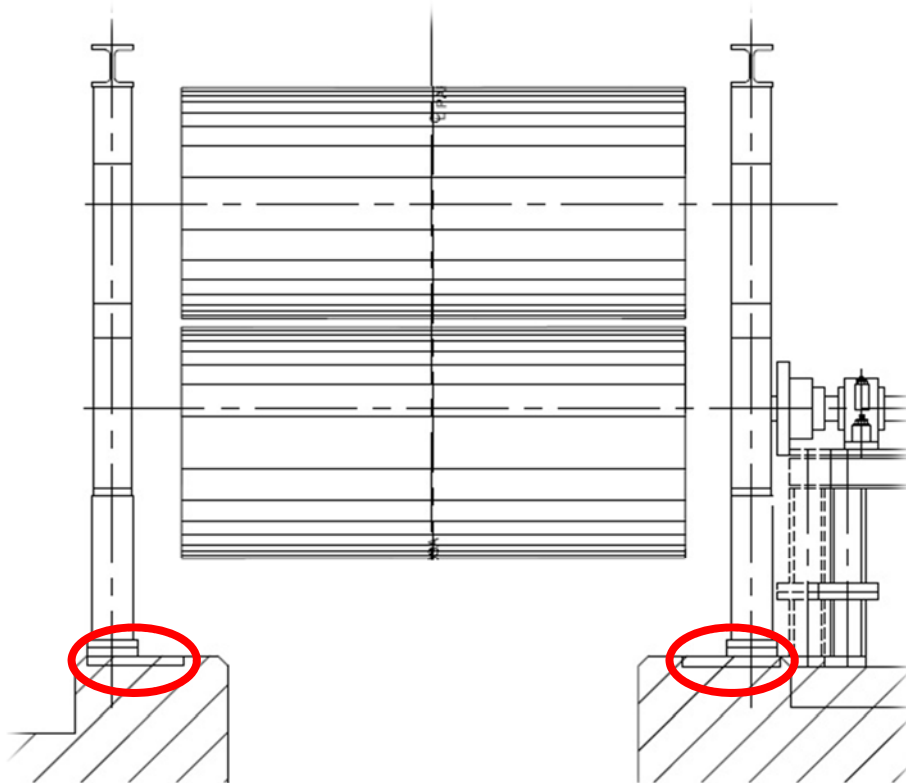


Figura 18. Posicionamiento de la cola de milano en la cimentación de la primera sección de secadores

## Generación de alternativas de solución para el subsistema estructural

A continuación se muestran los diferentes conceptos generados, así como la metodología de selección para el subsistema estructural, que fue el único subsistema al que se enfocó la reconstrucción de la primera sección de secadores de vapor. En la metodología usada se empezó con la selección de los requerimientos más característicos del subsistema estructural, los cuales fueron:

- Acoplarse a la cimentación
- Realizar cambios en lado transmisión y en menores piezas posibles (bases del lado transmisión)
- Uso de acero de bajo carbono
- Uso de elementos comerciales

Ya conocidos los requerimientos más importantes para la reconstrucción de la primera sección de secadores, se siguió con la comparación de los requerimientos mediante el uso de la Tabla 2.

	A	B	C	D	Suma	Factor
A: acoplarse a la cimentación		○	1	○	1	0.2
B: cambio bases lado transmisión	1		1	1	3	0.5
C: acero de bajo carbono	○	○		1	1	0.2
D: uso de elementos comerciales	1	○	○		1	0.2
					6	1

Tabla 2. Comparación por pares de los requerimientos para el subsistema estructural

Para éste subsistema se generaron 6 alternativas de solución para realizar la función estructural, las cuales se muestran en la Tabla 3 y Tabla 4.


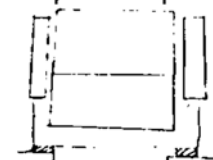
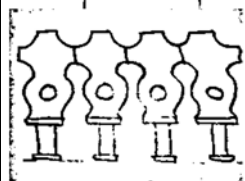
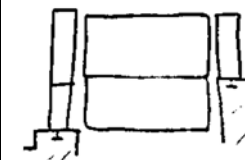
SSE1	uso de viga apoyo simple	
SSE2	uso de viga empotrada	
SSE3	uso de vigas en cantiléver (independientes entre sí)	
SSE4	modificar altura de cola de milano lado TX	

Tabla 3. Alternativas de solución SSE1, SSE2, SSE3 y SSE4 para el subsistema estructural.

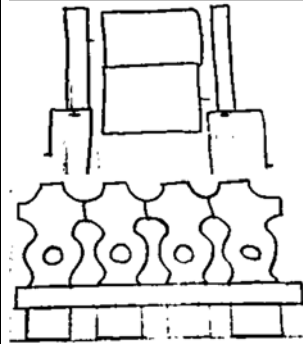
SSE5	modificar posición de ambas colas de milano	
SSE6	uso de vigas en cantiléver (ensambles)	

Tabla 4. Alternativas de solución SSE5 y SSE6 para el subsistema estructural.

Una vez generadas las alternativas de solución, se elaboró una matriz llamada “matriz de decisión”, en la cual se presentan en la primera columna los criterios de diseño, en la segunda, el factor de peso determinado anteriormente en la Tabla 2, en las siguientes columnas de la matriz se presentan las calificaciones de cada una de las alternativas de solución, éstas calificaciones se determinaron de acuerdo al cumplimiento de objetivos y experiencia en diseños similares. El producto del factor de peso de cada uno de los criterios por la calificación que se asignó, da como resultado un número entre 0 y 10 puntos, el concepto con la puntuación más alta fue el ideal. En la Tabla 5 se muestra la matriz de decisión.

Requerimiento	Factor Peso	SSE1	SSE2	SSE3	SSE4	SSE5	SSE6						
Acoplarse a la cimentación	0.17	6	1.00	7	1.17	8	1.33	0	0.00	0	0.00	9	1.50
Cambio bases lado transmisión	0.50	6	3.00	8	4.00	10	5.00	10	5.00	5	2.50	10	5.00
Acero de bajo carbono	0.17	10	1.67	10	1.67	10	1.67	0	0.00	0	0.00	10	1.67
Uso de elementos comerciales	0.17	10	1.67	10	1.67	10	1.67	0	0.00	0	0.00	10	1.67
<i>Total</i>	1.00	32	7.33	35	8.50	38	9.67	10	5.00	5	2.50	39	9.83

Tabla 5. Evaluación de conceptos para el subsistema estructural.

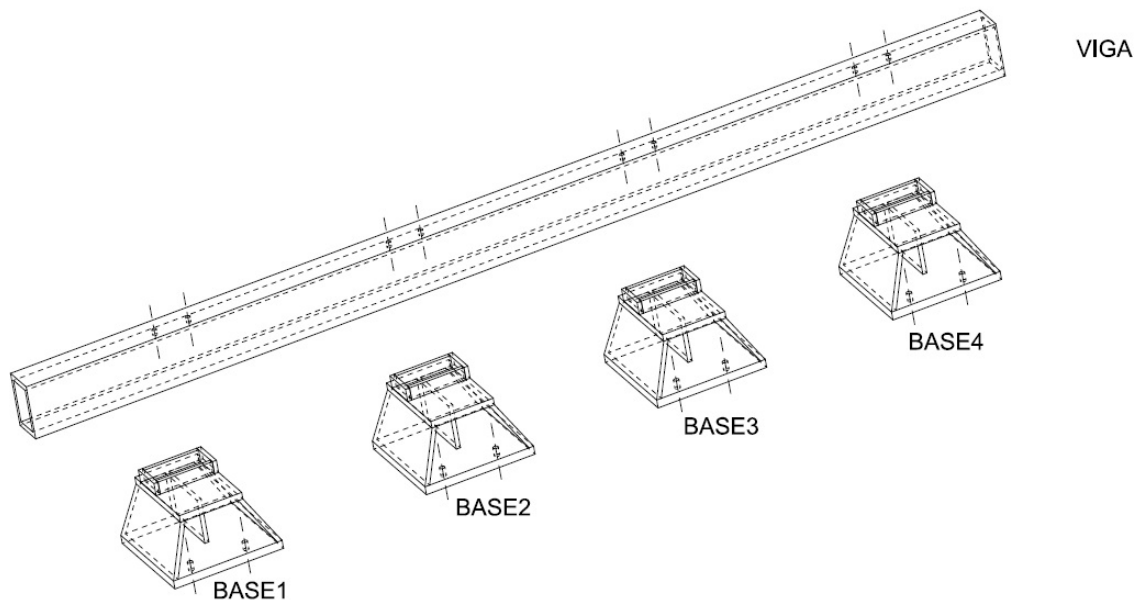
De la Tabla 5 se obtuvo la solución ganadora, que fue la estructura mediante el uso de vigas en cantiléver, con un ensamble para unirlos. Donde se utilizó una viga como elemento de unión y distribución de carga, además se utilizaron 4 piezas de forma similar a las bases anteriores, cuya tarea esencial fue además de soportar el peso de la estructura, nivelar dicha estructura debido a la diferencia en alturas de la cola de milano. La Figura 19 muestra la morfología utilizada según las necesidades del entorno de la primera sección de secadores.

Las nuevas bases diseñadas se fabricaron iguales entre sí, el desnivel que presentó la cola de milano se compensó mediante el uso de placas maquinadas respecto a la necesidad de cada punto, de esta manera se garantizó que la viga en cada uno de sus puntos se encontrara nivelada.

Las placas de nivelación se soldaron tanto a los elementos en cantiléver como a la viga que es encargada de unir el conjunto de piezas del subsistema, las placas fueron soldadas desde un inicio para generar una forma rectangular, la altura de dicho perfil se maquinó.

La forma en que se planeó el ensamble fue en tres etapas, buscando de ésta manera el menor número de movimientos con grúa, las etapas se describen a continuación:

- La primer etapa consistió en posicionar los elementos inferiores (se les asignó el nombre de bases debido a que ese nombre era utilizado para las piezas anteriores de posición similar, siendo 4 piezas iguales)
- La segunda etapa consistió en asignar las placas maquinadas según los requerimientos de cada una de las bases.
- La tercera etapa consistió en la colocación de la viga que mantendrá a cada uno de los elementos en la posición adecuada y la unión del conjunto de piezas mediante soldadura.



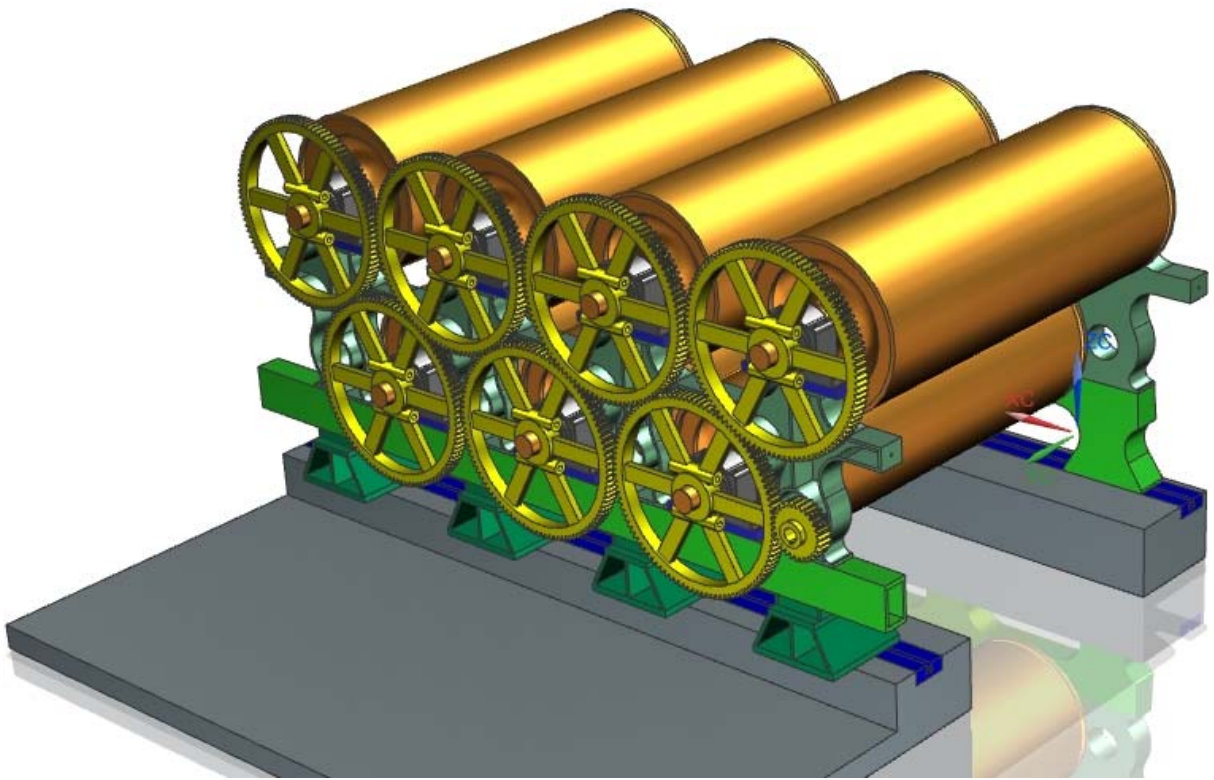
*Figura 19. Subsistema estructural de la primera sección de secadores.*

### Primer diseño de configuración

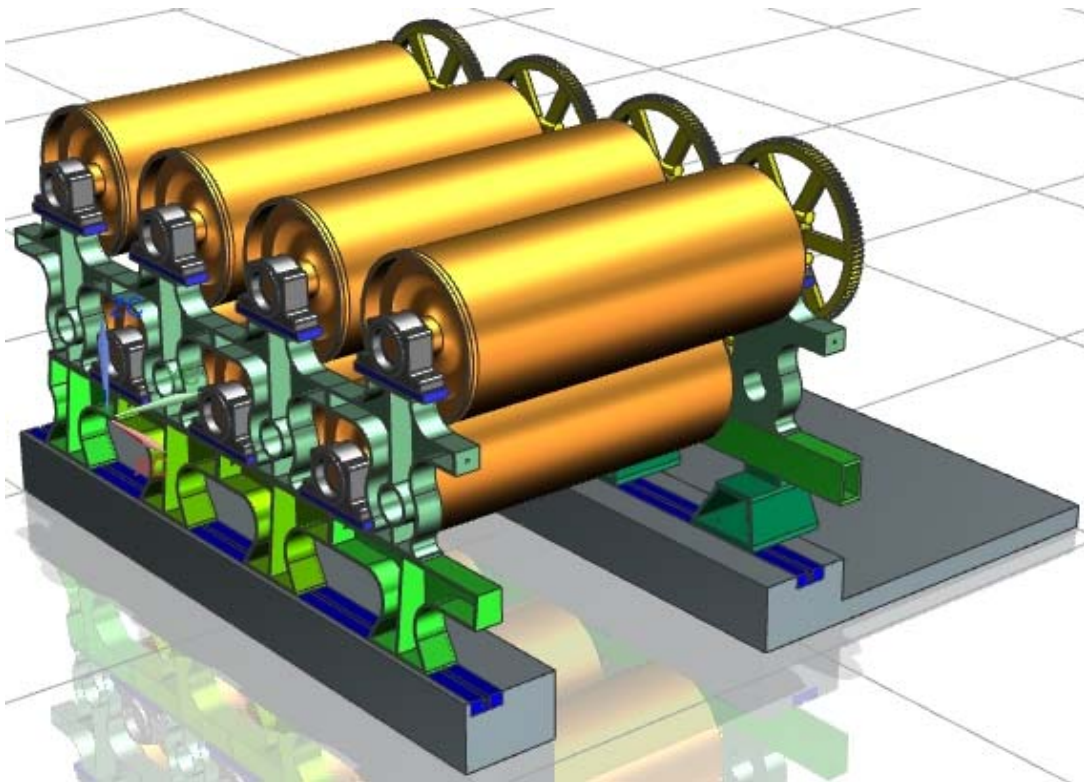
Ya definidas las bases del lado transmisión mediante la ayuda de un software de diseño asistido por computadora se tiene un primer diseño de configuración, que se muestra en la Figura 20; ésta ilustración se aprecia el arreglo de los secadores, la forma de la cimentación y el arreglo de engranes para generar el movimiento. El sentido del recorrido del papel, como se mencionó antes, es ingresando por el secador número 1, que es el más cercano a las secciones de prensas (secador superior del lado izquierdo de la imagen) y concluye su trayecto en el secador número 7 que es el más cercano a la calandra (secador superior del lado derecho de la imagen). Por fines ilustrativos no contempla la flecha de transmisión, ni la base de la flecha de transmisión.

El ensamble de las bases, placas y viga de la Figura 19 se contempla detrás de los engranes de la Figura 20, además se nota el modo de cantiléver en que se posicionan para la carga de la sección de secadores, mientras que del lado transmisión como se ilustra en la Figura 21 no se tienen cambios a la estructura original de los secadores, cabe señalar que la estructura del lado frente y lado transmisión en un principio eran iguales.





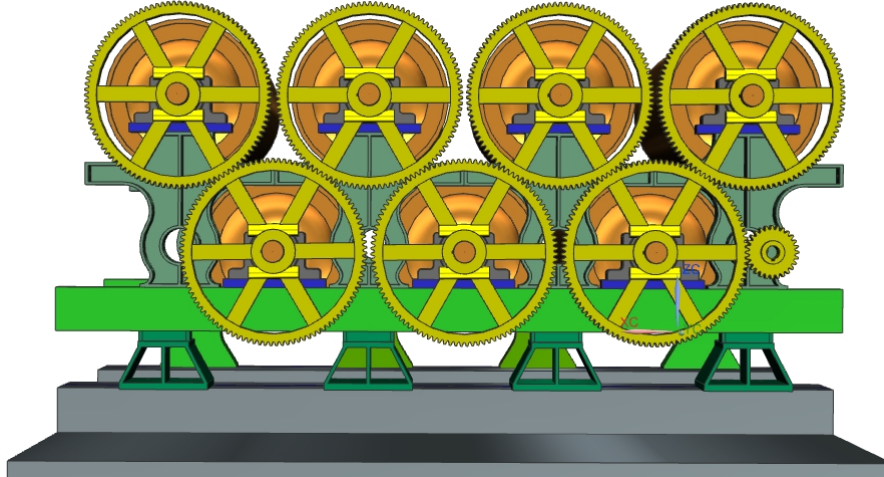
*Figura 20. Primer diseño de secadores, visualizado desde el lado transmisión.*



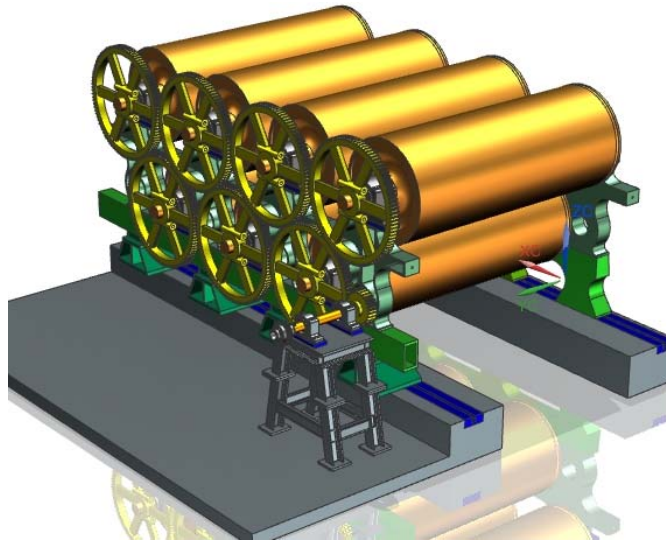
*Figura 21. Primera sección de secadores vista del lado frente, donde el secador superior que mejor se aprecia es el secador número 1.*



El montaje de la sección de secadores consistió en el posicionamiento de las bases diseñadas, que estratégicamente al quedar ensambladas con la viga, tuvieron la misma altura que las bases de la misma posición del lado frente. Posteriormente se colocaron unas placas de nivelación mostradas en color azul y sobre éstas se instaló el conjunto inferior de secadores-chumaceras-engranes (secador 2, secador 4 y secador 6). El siguiente paso fue la instalación de los 8 pedestales y de la misma manera se instalaron las placas de nivelación y el conjunto superior de secadores-chumaceras-engranes (secador 1, secador 3, secador 5 y secador 7).



*Figura 22. Contraste de la bases del lado frente en comparación de las bases del lado transmisión.*



*Figura 23. Ensamble con base y flecha de transmisión.*

Éste diseño en un inicio no contempló la mala cimentación de la cola de milano; de la observación de otra sección de secadores en la que se realizó una base en cantiléver, mostró que las varillas del concreto no se encontraban correctamente ligadas a la cola de milano, ya que se encontró un desprendimiento en la cimentación. Además, el ensamblaje no contempló el cambio de la base de flecha de transmisión, éste cambio se decidió cuando se notó que la base se encontraba fracturada en una de las muchas correcciones que había tenido.

## Segundo diseño de configuración

El segundo diseño de configuración fue puesto a discusión en las juntas con el jefe de mantenimiento, producción, gerente de planta y responsable de las plantas de Sonoco a nivel Latinoamérica. Para el cual se acordó que en el diseño se contempla una segunda viga que en principio reduciría cualquier tipo de vibraciones que pudiesen existir y en segundo término ayudaría a evitar cualquier defecto de cimentación que pudiese tener ésta sección. En un aspecto adicional, se contempló el cambio en la estructura de la flecha de transmisión así como la creación de un medio de transporte para los secadores

La viga que se contempló en el segundo diseño de configuración se define en el Plano 4 y Plano 5, donde tiene una altura de 258 [mm] y a lo largo de ésta se realizaron barrenos pasados para poder anclarla al piso mediante el uso de anclas y una resina comercial. En la Figura 24 se muestra la forma en la que instalaría la viga y el uso de distintas placas de nivelación de acuerdo a la necesidad de la base instalada.

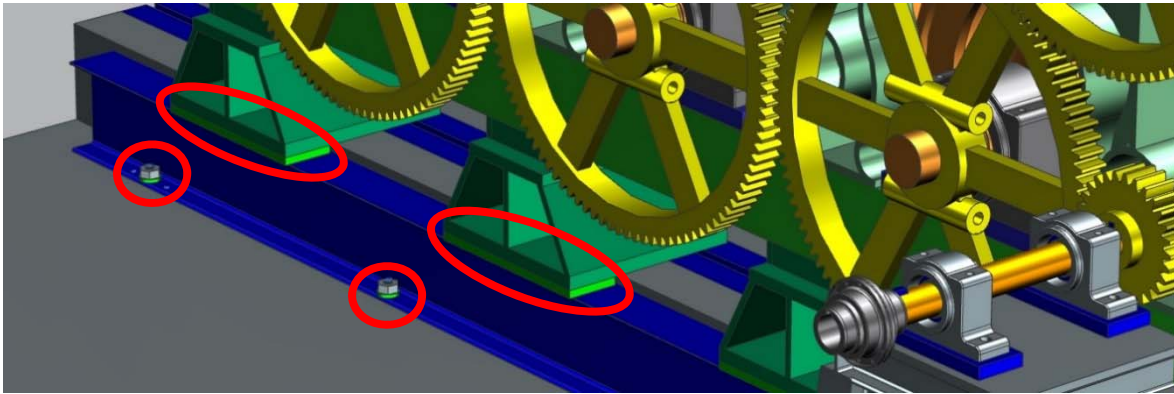


Figura 24. Instalación de viga adicional y placas de nivelación para la viga.

Una vez realizado el diseño se procedió a la puesta en marcha del plan de montaje, teniendo oportunidad de acondicionar el entorno de los secadores en los paros de planta anteriores al mes de diciembre de 2015.

## Memoria de cálculo

Para el diseño de las bases se consideró el momento de área, el módulo de elasticidad del acero, la longitud que existe entre la fuerza y el empotramiento y la fuerza. Debido a que los gerentes, directivos y el proveedor del material tienen asignado el módulo de elasticidad en unidades de  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ , se utilizaron las unidades de los cálculos en el mismo sistema para poder explicar mejor el funcionamiento de la viga a las personas de Sonoco.

Para obtener el momento de inercia de área de la viga, se realizaron los cálculos de acuerdo a las medidas para los perfiles rectangulares que se muestran en la Figura 25, mientras que para las figuras laterales que no se encontraban numeradas de la Figura 25, se realizó una resta de momentos debido a que se identificó que los perfiles al juntarse tienen forma triangular como se muestra en la Figura 26.

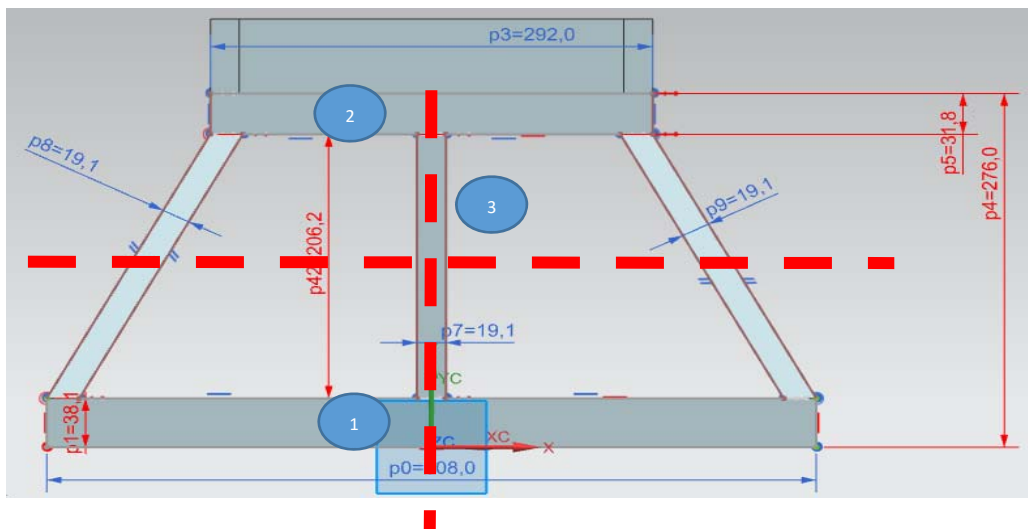


Figura 25. perfiles para los que se obtuvieron los momentos de inercia de área.

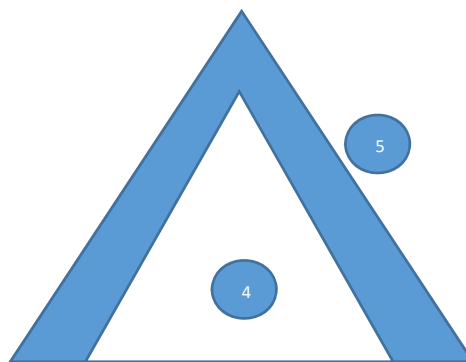


Figura 26. Arreglo de las placas al cual se llegó para poder facilitar los cálculos de los momentos de inercia.

Ya identificadas perfectamente las áreas, se realizaron los cálculos mostrados en la Tabla 6 para obtener la sumatoria de los momentos de inercia.

**momentos de inercia**

perfil	b [cm]	h [cm]	I [cm <sup>4</sup> ]		A [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]	A*d <sup>2</sup> [cm <sup>4</sup> ]	ΣI [cm <sup>4</sup> ]
1	50.8	3.81	$I = \frac{(b+h^3)}{12}$	234.1301769	193.5	13.6	35798.638	36032.7
2	29.2	3.18		78.2497512	92.85	12.2	13843.353	13921.6
3	19.1	20.62		13954.62287	NA	NA	0	13954.6
4	21.6	16.5	$I = \frac{(b+h^3)}{36}$	2695.27	NA	NA	0	3607.72
5	25.9	20.615		6302.99				
							Total	67516.7

Tabla 6. Cálculos realizados para obtener la sumatoria de momentos de inercia.

Con el momento de inercia conocido, se aplicarán los datos necesarios mostrados en la Tabla 7 para conocer la deflexión máxima que sufriría la viga en cantiléver.

## VIGAS DE SECCION TRANSVERSAL UNIFORME

Reacciones		Momento flexionante máximo $M_{m\acute{a}x}$	Deflexión máxima $f$	Tipo de carga
Fuerza en A	Momento en B			
$F$	—	$Fl$	$\frac{Fl^3}{3EI}$	

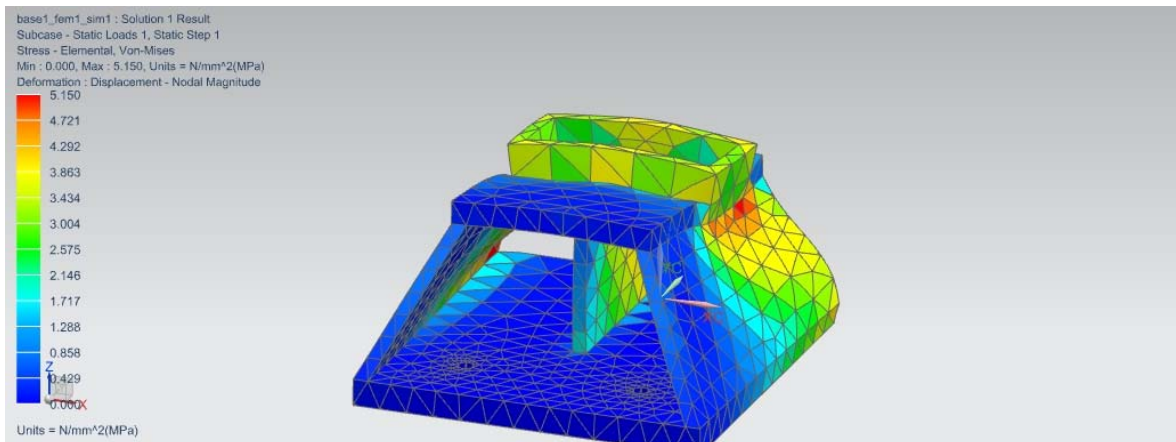
*Tabla 7. Fórmulas para conocer la deflexión máxima en una viga de sección constante.*

Aplicando los datos del proveedor, de la herramienta CAD y del análisis del subsistema estructural se llegó a la Tabla 8, donde la fuerza considera un 75% de cargas dinámicas y un 50 % de cargas estáticas, en otras palabras el factor de seguridad usado fue de 2.25; El resultado de las operaciones demuestra que la deflexión de viga es infinitesimal, considerándose aproximadamente 0.

	deflexión máxima	
<b>F=</b>	5848	[kg]
<b>L=</b>	8	[cm]
<b>E=</b>	2600000	[kg/cm <sup>2</sup> ]
<b>I=</b>	67516.71869	[cm <sup>4</sup> ]
<b>γ=</b>	5.68554E-06	[cm]

*Tabla 8. Resultado de la deflexión máxima usando los datos de proveedor, análisis del subsistema y herramientas CAD.*

Otra manera de corroborar los datos generados fue mediante el uso de análisis por elemento finito como se muestra en la Figura 27; utilizando la carga descrita anteriormente (aproximadamente 5.8 toneladas) al centro de la sección de nivelación (cuadrado), se obtuvo como resultado máximo 5.15 [MPa], mientras que el esfuerzo de cedencia para un acero de bajo carbono (AISI 1008 Hot Rolled) es de 170 [MPa], lo que nos garantiza que las bases soportarán el peso de la máquina.



*Figura 27. Análisis por el método de elemento finito aplicado a la base diseñada.*

## Montaje de secadores

En los distintos paros de planta anteriores a diciembre de 2015 se descubrió que la cimentación en la que se realizarían las perforaciones para el uso de anclas y resinas, se encontraba en muy malas condiciones lo que generó la fractura de la base para la flecha de transmisión ilustrada en la Figura 28. El piso en esa sección únicamente era una capa de concreto de aproximadamente 100 mm, por lo que se decidió que la viga de 258 [mm] se cubriera con concreto y se definió la nueva cimentación de la flecha de transmisión.



*Figura 28. Mantenimientos correctivos realizados a la base para la flecha de transmisión.*

En la Figura 29 se muestra el último diseño de configuración utilizando la herramienta de diseño asistido por computadora, en él se puede apreciar en color gris oscuro el elemento a colar, así como el arreglo de varillas, y como se especificó en la sección de requerimientos, se previó el uso de concreto con un aditivo para acelerar el tiempo de fraguado a tres días. La viga de 258 [mm] se muestra descubierta, pero como se mencionó anteriormente, se utilizaría el concreto para cubrirla, haciendo así una trabe. Además en la Figura 29 se muestra la estructura superior de los secadores, en éstas vigas no se realizaron modificaciones, únicamente se ampliaron los elementos de perfil circular que unen la estructura del lado frente con la estructura del lado transmisión.

La estructura superior formada de vigas de 101.6 [mm] en el lado frente soporta la estructura de un arreglo de poleas, las cuales guían un arreglo de tres lazos, el arreglo de lazos permite ingresar una tira de la hoja de papel a la primera sección de secadores y garantiza que ésta siga su recorrido por toda la sección y continúe de la misma manera por los arreglos de lazos en las secciones de secado siguientes. Éste arreglo no se incorporó al dibujo tridimensional, ya que sale del alcance del proyecto.



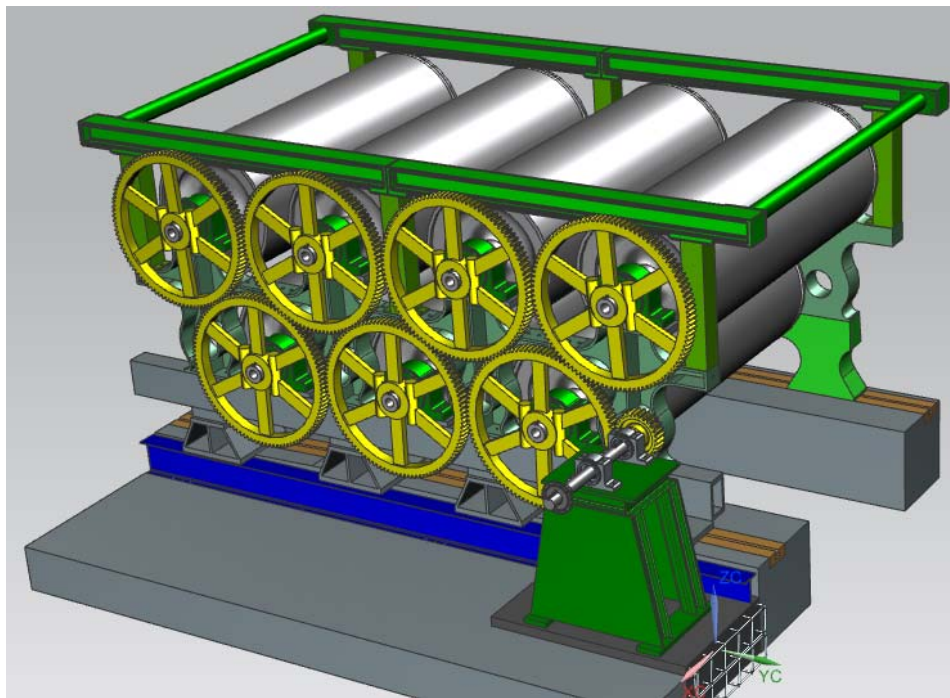


Figura 29. CAD final de la primera sección de secadores, mostrando el elemento a colar, el arreglo de varillas y el nuevo elemento estructural para la flecha de transmisión.

Como se mencionó la parte gris oscuro en la cimentación de la primera sección de secadores se refiere al nuevo concreto a utilizar, pero en el caso de colar, se hubieran esperado 72 horas antes de colocar la base de la mancuerna, lo que significa que la flecha de transmisión hubiese tardado 72 horas en instalarse, éste elemento fue el más crítico en el montaje, ya que a partir de la posición del piñón se montó el secador número 6 y consecutivamente se montarían los secadores de la sección inferior. La forma de evitar que se esperara tanto tiempo en el proceso de montaje y alineación de los secadores se debió al siguiente método:

- Mientras el proceso de desmontaje de secadores comenzaba con la extracción de los arreglos de poleas, se demolió el piso donde se encontraba la base de la flecha de transmisión.
- Se trasladaron los secadores anteriores mediante la ayuda del carro de transporte de la Figura 30.



Figura 30. Carro de transporte para los secadores, sobre las superficies triangulares se colocaron polines para evitar que los secadores se maltrataran.

- Terminada la demolición y extracción del material residual, en apoyo de la herramienta de diseño asistido por computadora se dieron las medidas para colocarse 2 placas directamente a la pared de la cimentación donde se encuentra la cola de milano utilizando espárragos para garantizar su posicionamiento, otras 2 placas fueron colocadas sobre la cimentación donde se encuentra el reductor de velocidad utilizando anclas químicas (resina) y soldadura, y una última placa se soldó en medio de las 4 placas anteriores para sostener la estructura de la flecha de transmisión como se muestra en la Figura 31.



*Figura 31. Colocación de la quinta placa sobre las placas que se encontraban ancladas a las cimentaciones.*

- Debajo del arreglo de placas se colocó el armado de varillas para posteriormente colar como se muestra en la Figura 32, mientras que sobre el arreglo de placas se colocó la estructura de la flecha de transmisión como se muestra en la Figura 33.



*Figura 32. Arreglo de varillas por debajo de placas para la estructura de flecha de transmisión.*



*Figura 33. Montaje de base de flecha de transmisión sobre placas.*

- Se instalaron las bases descritas en el presente trabajo en las posiciones correspondientes como se muestra en la Figura 34 y Figura 35 y mediante la lectura de teodolito se dio la altura final de los elementos de nivelación pertenecientes a éste conjunto.



*Figura 34. Anclaje de bases a la cola de milano mediante tornillos de cabeza plana, roldanas planas, roldanas de presión y tuerca (todos los tornillos en grado 5).*





*Figura 35. Instalación de las bases descritas en el presente trabajo*

- Ya instalada la base para la flecha de transmisión se colocó pre-alineo la flecha de transmisión con el cople de una marca destacada en ésta área instalado de un lado y por el otro lado el piñón como se muestra en la Figura 36 y Figura 37. Después de pre-alinear la flecha de transmisión, se marcaron las posiciones de las chumaceras y se colocaron placas con tornillos set como la funciones de topes, esto previendo que en cualquier circunstancia futura se demoré el alineamiento. Después de colocar los topes se alineo completamente la flecha de transmisión con indicador de caratula.



*Figura 36. Pre-alineación de la flecha de transmisión.*



*Figura 37. Alineación del cople con la flecha del reductor de velocidad.*

- Se colocó el conjunto secador#6-chumaceras-engrane sobre las bases descritas en el presente trabajo como se muestra en la Figura 38, posteriormente se alinea el conjunto respecto a la posición del piñón como se muestra en la Figura 39.



*Figura 38. Posicionamiento del secador #6 sobre placas de nivelación*





*Figura 39. Alineación del secador número 6.*

Concluida la etapa crítica referente a la flecha de transmisión se prosiguió a la instalación de los demás conjuntos de secadores de la sección inferior siguiendo el ajuste de distancias con ayuda de la herramienta de diseño asistido por computadora.



*Figura 40. Instalación de los secadores inferiores de la primera sección de secadores.*

Posteriormente se montaron los pedestales en ambos lados como se muestra en la Figura 41 y Figura 42, donde todos los elementos estructurales se unieron mediante tornillería de grado 5.



*Figura 41. Montaje de los pedestales en el lado transmisión*



*Figura 42. Montaje de los pedestales del lado frente.*

Ya instalados los pedestales en ambos lados, se colocaron las placas de nivelación e instalaron los conjuntos de secadores superiores (secador 1, secador 3, secador 5, secador 7).



*Figura 43. Secadores superiores instalados satisfactoriamente.*

Posteriormente se instalaron las estructuras superiores junto con los arreglos de poleas como se muestra en la Figura 44.



*Figura 44. Conjunto de poleas instaladas correctamente en la primera sección de secadores.*

Finalmente se instaló el rodillo pescante que se describió en los requerimientos mostrándose en la Figura 45, donde para posicionarlo se utilizó una cinta de 30 [m], colocando el inicio de la cinta en un punto marcado de la segunda sección de secadores y tomando el final a la salida de la primera



sección de prensas, la trayectoria de la cinta se colocó sobre la superficie de los secadores de la primera sección del lado frente. Se repitió el procedimiento en el lado transmisión y se llegó a la misma distancia ajustando las chumaceras del rodillo pescante mediante el uso de tornillos set.



*Figura 45. Instalación del rodillo pescante.*

Finalmente se retiraron los moldes del concreto al tercer día de fraguado, quedando todo en orden.



*Figura 46. concreto fraguado exitosamente, teniendo como alma la viga de 258 [mm]*



## Resultados

El resultado más trascendental del proyecto se dio a partir de la medición que realizó el personal de Sonoco a las chumaceras del lado frente después del arranque de la máquina, mediante un acelerómetro de la marca de rodamientos (que se dedica a la investigación) se llegó a la Tabla 9, donde se compara con la Tabla 10 que demuestra el rango de operaciones de la máquina catalogándolo en cuatro áreas: bien, satisfactorio, insatisfactorio e inaceptable. Cabe destacar que en todas las chumaceras se obtuvo un estatus de vibraciones “bien”.

	Secador 1	Secador 2	Secador 3	Secador 4	Secador 5	Secador 6	Secador 7
Axial [mm/s]	0.9	0.6	0.8	0.6	0.7	0.5	1.2
Axial [°C]	42	48	51	47	57	50	57
Radial [mm/s]	1.4	1.1	1.4	1.3	1.2	0.6	1.5
Radial [°C]	46	47	50	56	56	54	55

Tabla 9. Mediciones según las especificaciones de la marca de rodamientos.

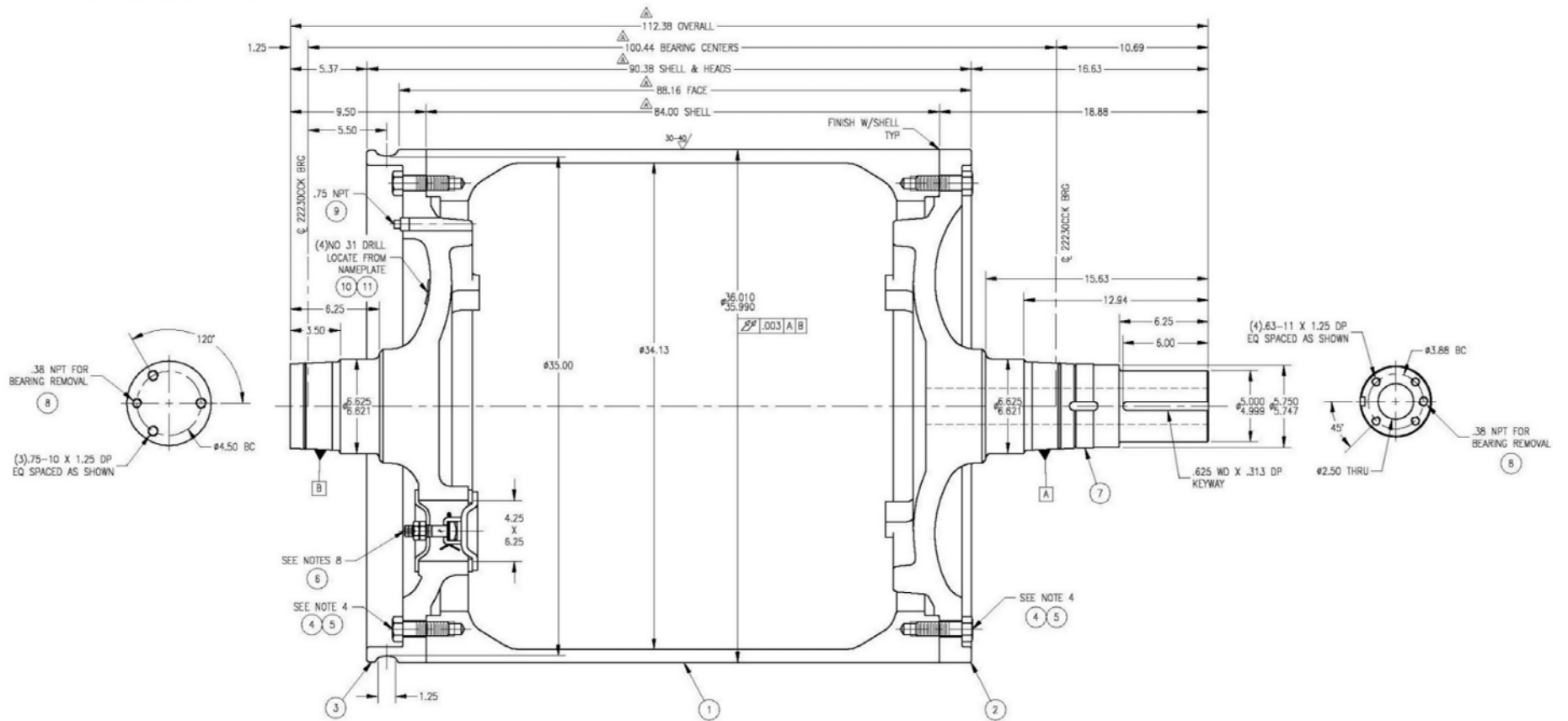
Vibration Severity Card			
Velocity Severity		Machinery Group 2 (Medium Machines)	Machinery Group 1 (Large Machines)
ISO 10816-3		Rated Power: 15 kW to 300 kW	Rated Power: >300 kW
in/sec eq. Peak	mm/sec RMS	Electrical Machines with Shaft Height 160 to 315 mm (6.30 to 12.40 in.)	Electrical Machines with Shaft Height >315 mm (>12.40 in.)
0.61	11.0	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger) Unsatisfactory (Alert)
0.39	7.1	Unacceptable (Danger)	Unsatisfactory (Alert)
0.25	4.5	Unsatisfactory (Alert)	Satisfactory
0.19	3.5	Unsatisfactory (Alert)	Satisfactory
0.16	2.8	Satisfactory	Satisfactory
0.13	2.3	Satisfactory	Good
0.08	1.4	Good	Good
0.04	0.7	Good	Good
0.00	0.0	Good	Good
Foundation		Rigid	Flexible

Tabla 10. Tabla de severidad de vibraciones.

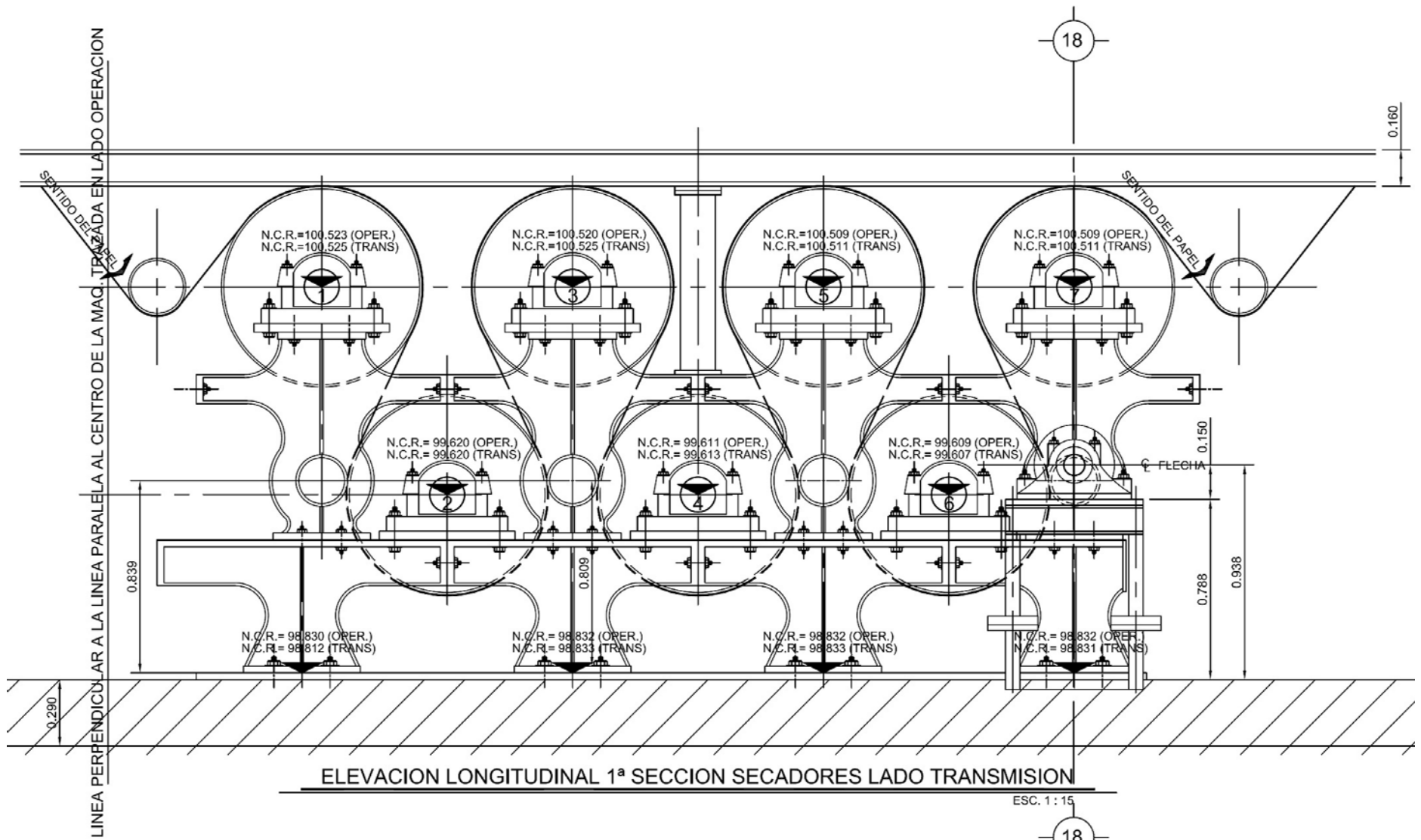
## Conclusiones

La reconstrucción de la primera sección de secadores resultó en un éxito, después de un paro de planta de 7 días, donde 3 días fueron de desmontaje y 4 días fueron del montaje de las piezas nuevas, 7 meses de investigación, trabajo de campo y avance en fabricación de piezas, el cliente “manufacturas Sonoco S.A. de C.V.” resultó completamente satisfecho, ya que desde un inicio nuestro diseño no presento fallas estructurales y la máquina arranco sin ninguna demora por primera vez. Al pasar la hoja de papel a través de la nueva sección de secadores, ésta no se reventó y mostró un secado uniforme a la salida de la calandra, lo que representó aproximadamente entre un 10% y un 15% de aumento en producción. Antes del presente proyecto la máquina generaba ganancias netas de 25'000 \$/h, con mi trabajo y dedicación en conjunto con cada una de las personas que trabajo en este proyecto, la planta Atizapán aumentó sus ingresos y capacidades de suministro, satisfaciendo a los clientes y consumidores.

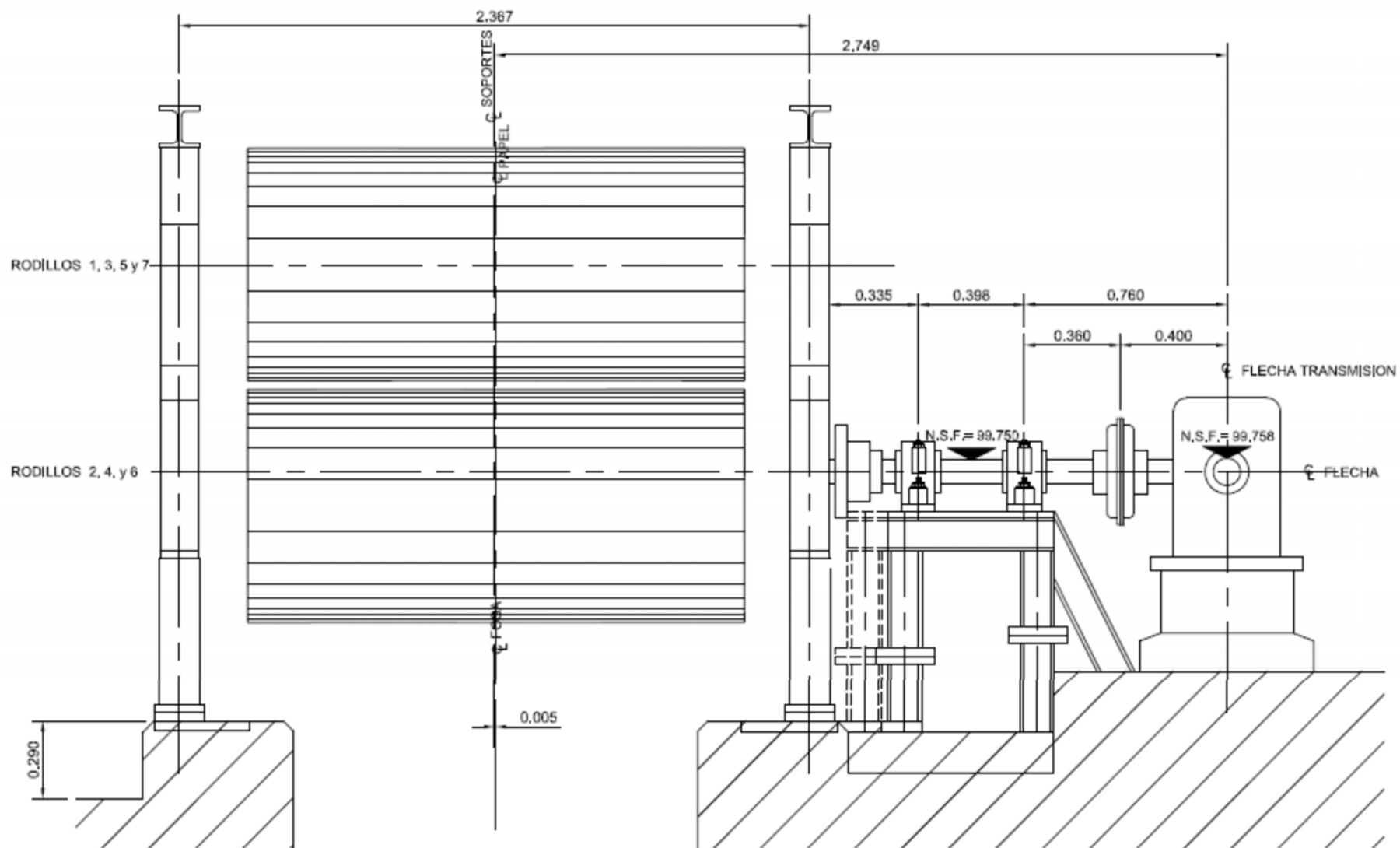
# Planos



Plano 1. Detalles de secadores adquiridos para el proyecto "Rediseño, fabricación y montaje de una sección de secado en una línea de producción de

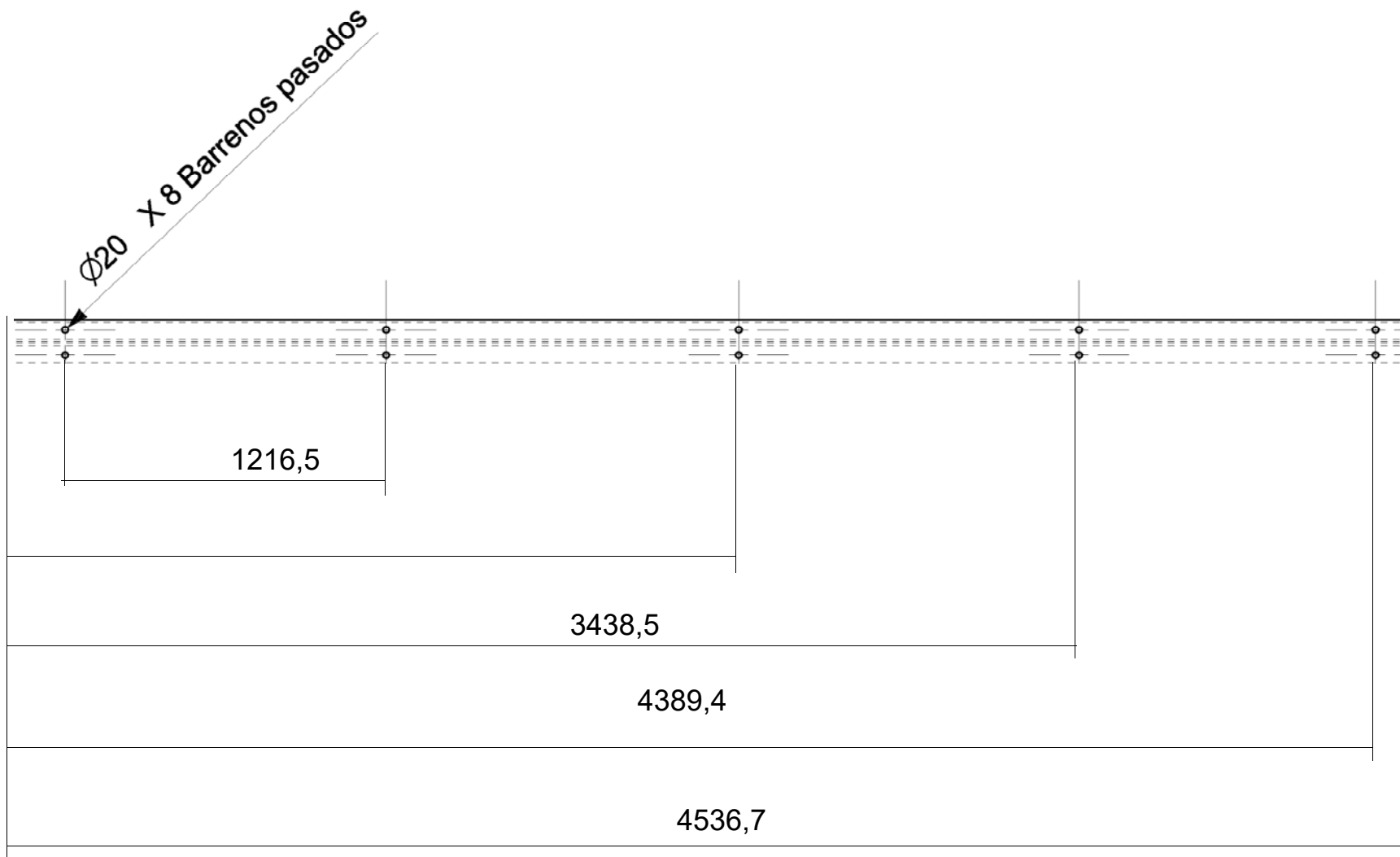


Plano 2. Numeración de rodillos y medidas antes de la reconstrucción de la primera sección de secadores

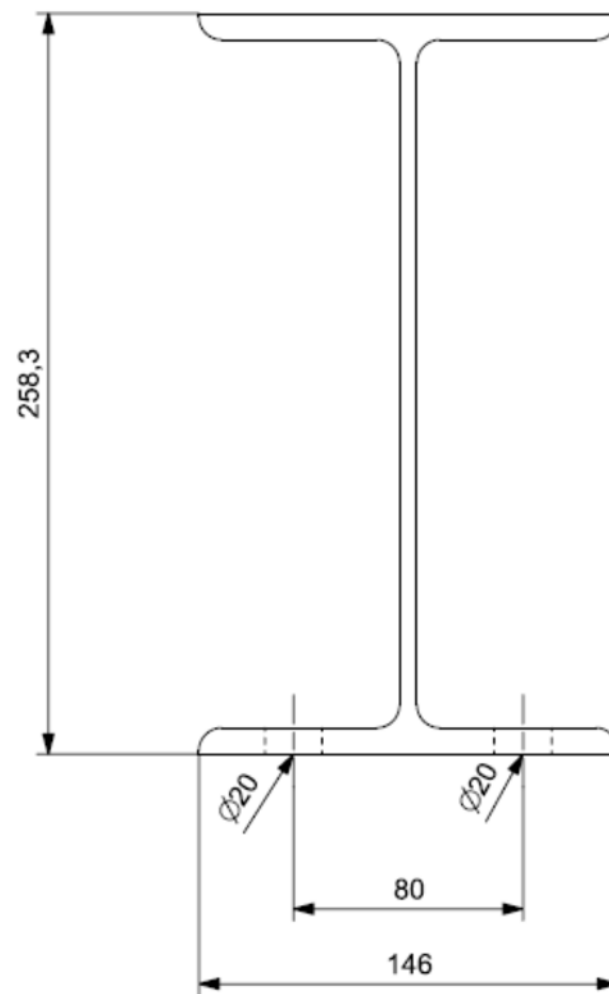


Plano 3. Elevación transversal de la primer sección de secadores





Plano 4. Vista lateral de viga adicional contemplada en segundo diseño de configuración.



*Plano 5 Vista frontal de viga adicional contemplada en segundo diseño de configuración.*

## Bibliografía

[1] Fabricación de papel

[http://www.sca.com/global/publicationpapers/pdf/brochures/papermaking\\_es.pdf](http://www.sca.com/global/publicationpapers/pdf/brochures/papermaking_es.pdf)

[2] Apuntes de Juan Jándula – Tema 1: Proceso de fabricación del papel

[3] Historia Sonoco

<http://www.sonoco.com/aboutus/history.aspx>

[4] Curso “Tecnología de la fabricación del papel” Universidad de Guadalajara, departamento de Madera Celulosa y Papel.

[5] E. DIETER, George Engineering Design 3rd edition McGraw-Hill

[6] KURT GIEK, Manual de fórmulas técnicas ALFA OMEGA.