



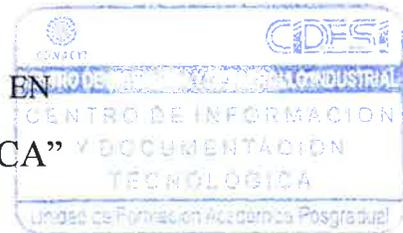
# CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL

PIT-56

PROYECTO INDUSTRIAL TERMINAL

## *ALTERNATIVA DE DISEÑO CONCEPTUAL PARA MÁQUINA DE PRODUCCIÓN CONTINUA DE NANOTUBOS DE CARBONO EN FORMA LINEAL*

PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD EN  
“TECNÓLOGO EN MECATRÓNICA”



PRESENTA:

JESÚS GERARDO ACUÑA VALERIO

006950

TUTOR DE PLANTA Y ACADÉMICO:

DR. LUIS DEL LLANO VIZCAYA

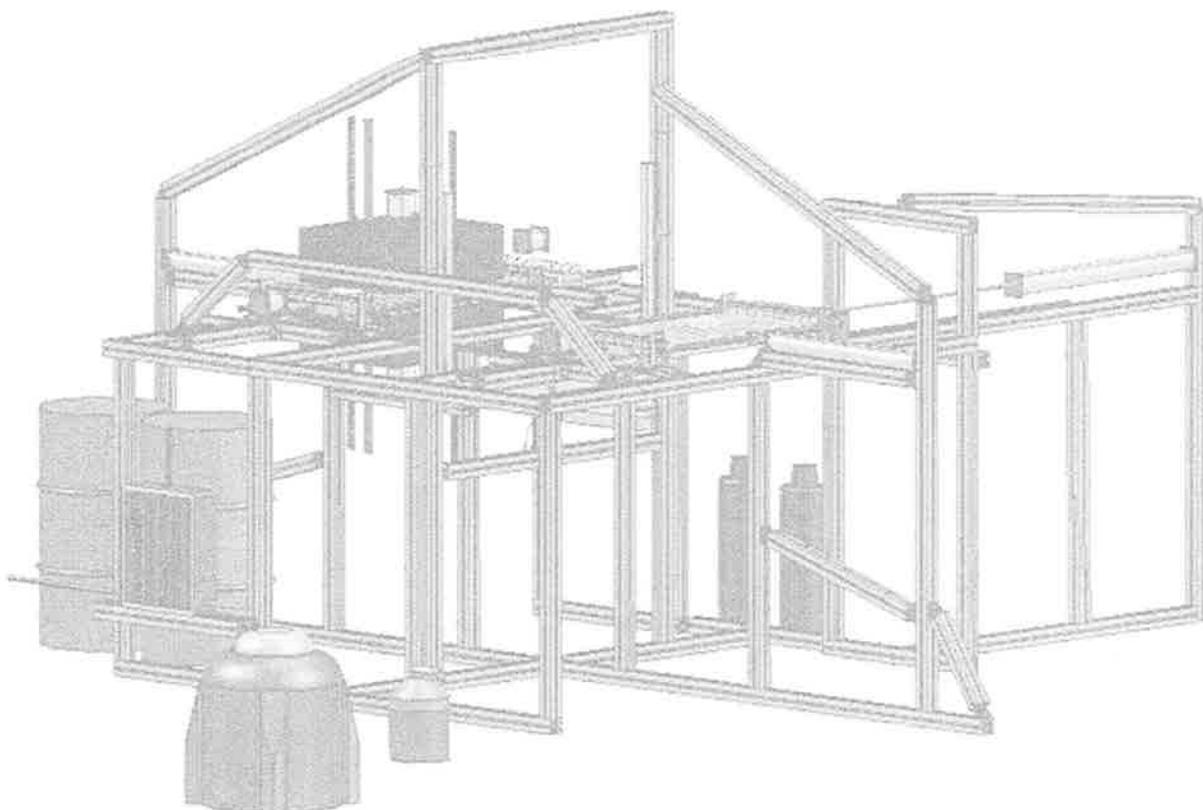
Luis Del Llano Vizcaya



QUERÉTARO, QRO. SEPTIEMBRE 2012

*ALTERNATIVA DE DISEÑO CONCEPTUAL PARA MÁQUINA DE PRODUCCIÓN CONTINUA DE NANOTUBOS DE CARBONO EN FORMA LINEAL*

---



**Quiero dedicar este trabajo a esas cuatro personas que hasta este momento de mi vida más quiero: mis padres por siempre impulsarme a seguir adelante inspirándome con el gran ejemplo que siempre los ha caracterizado y por hacerme sentir a diario que soy parte de lo que mejor les ha pasado en la vida.**

**A mis hermanos por su incondicional apoyo y valiosos consejos en todos los momentos difíciles que pasé durante este tiempo, y principalmente por ayudarme siempre que lo necesite aún cuando pudieran estar en un momento difícil de su vida.**

**También quiero dedicar el presente, a los errores que he cometido, ya que son una inspiración para algún día poder estar haciendo lo que más quiero.**

**Quiero agradecer a Dios y a la vida por acomodar las cosas de tal manera que siempre me favorecen aún cuando no las entienda de primer momento.**

**Quiero agradecer al Dr. Luis del Llano por la paciencia que me tuvo en este tiempo, por las numerosas pláticas que tuvimos que algunas veces contenían fragmentos que puedo tomar como consejos de vida que, simplemente no se aprenden en ningún libro, y por haberme brindado su amistad.**

**De igual manera a mis compañeros, que pasaron de ser unos desconocidos en algún momento a ser mis amigos, agradezco su paciencia y ayuda, de todos aprendí algo y de todos me llevo algo.**

## Contenido

1. Introducción.....	7
1.1. Resumen.....	7
1.2. Antecedentes.....	8
1.3. Definición del Tema.....	11
1.4. Justificación.....	12
1.5. Objetivos.....	13
1.5.1. Objetivo General.....	13
1.5.2. Objetivos Específicos.....	13
2. Fundamentos.....	14
2.1. Nanotubos de Carbono y Proceso CVD.....	14
2.2. Proceso Desarrollado por CIMAV para producción de NTC.....	15
2.3. Parámetros de diseño del horno.....	15
2.4. Diseño en Ingeniería.....	17
2.5. Comandos principales de Software SolidWorks® utilizados para construir la máquina.....	18
3. Procedimiento.....	23
3.1. Reconocer la necesidad.....	23
3.1.1. Proceso.....	24
3.1.2. Máquina.....	24
3.2. Crear un diseño.....	27
3.3. Proponer modelo.....	33
3.3.1. Comparativa de propuestas.....	37
3.4. Poner a prueba.....	38
3.5. Mejorar el diseño.....	39
3.5.1. Ensamble.....	39
4. Conclusiones.....	53
Bibliografía.....	54
Anexos.....	55

## Índice de figuras

Fig. 1. Esquema de Diseño Conceptual NTC-CVD-V1 <sup>5</sup>	8
Fig. 2. Máquina para fabricación de NTC por CVD, Versión 1 <sup>5</sup>	9
Fig. 3. Configuración circular de los tubos de cuarzo y horno <sup>8</sup>	9
Fig. 4. Diseño conceptual de máquina con hornos circulares <sup>8</sup>	10
Fig. 5. Micrografía de un nanotubo de carbono multicapa <sup>3</sup>	14
Fig. 6. Representación de un nanotubo monocapa <sup>5</sup>	14
Fig. 7. Proceso CVD <sup>4</sup>	14
Fig. 8. Medidas para los reflectores de aluminio <sup>5</sup>	16
Fig. 9. Medidas de los tubos de cuarzo <sup>5</sup>	16
Fig. 10. Representación y medidas de lámparas infrarrojas <sup>5</sup>	16
Fig. 11. Proceso de diseño de seis pasos <sup>1</sup>	17
Fig. 12. Esquema general del proceso	23
Fig. 13. Perfil Bosch	24
Fig. 14. Representación de tanque de argón	24
Fig. 15. Representación de matraz y bomba peristáltica	25
Fig. 16. Representación de precalentador	25
Fig. 17. Representación de tubos de cuarzo	25
Fig. 18. Representación de horno	25
Fig. 19. Representación de aspiradora	25
Fig. 20. Representación de intercambiador de calor	26
Fig. 21. Representación de contenedor	26
Fig. 22. Representación de cepillo	26
Fig. 23. Representación de aspiradora para el segundo proceso y ciclón	26
Fig. 24. Representación de Perfil Bosch	28
Fig. 25. Representación de soporte para precalentadores	28
Fig. 26. Representación de actuador hidráulico de 5pulg de carrera	28
Fig. 27. Representación de conexión de precalentadores	29
Fig. 28. Representación de bastidor y base individual para tubos de cuarzo	29
Fig. 29. Representación de O-ring para sellado de tubos	29
Fig. 30. Representación de O-ring para sujeción de tubos	30
Fig. 31. Representación de elementos para hacer el movimiento de los tubos	30
Fig. 32. Representación de la carcasa del horno	30
Fig. 33. Representación de sistema de enfriamiento de horno	31
Fig. 34. Representación de actuadores para apertura de horno	31
Fig. 35. Representación de terminal de aspiradora	31
Fig. 36. Representación de soporte para cepillos con transmisión interna de movimiento y motor CD	31
Fig. 37. Representación de actuador hidráulico de 120cm de carrera	31
Fig. 38. Esquema de máquina para síntesis de NTC	32
Fig. 39. Esquema del Primer Diseño	33
Fig. 40. Esquema del Segundo Diseño	34
Fig. 41. Esquema de Tercer Diseño	35
Fig. 42. Pasos de la simulación del diseño	38
Fig. 43. Ranura de las placas frontales del horno	39
Fig. 44. Ensamble de lámpara en horno	39
Fig. 45. Ensamble de una sección del horno	40
Fig. 46. Ensamble de placas individuales a bastidor	40
Fig. 47. Placa retén para O-ring de sujeción de tubo	40
Fig. 48. Ensamble de O-rings y placa para sujeción de tubos de cuarzo	41
Fig. 49. Ensamble de placas laterales a bastidor y chumacera tipo bipartida	42
Fig. 50. Ensamble de bloque de riel a placas laterales	42
Fig. 51. Ensamble de tubo dentro de chumaceras	43
Fig. 52. Ensamble terminado de conjunto de tubos de cuarzo	43
Fig. 53. Tubos de cuarzo dentro de horno abierto	44
Fig. 54. Tubos de cuarzo dentro de horno cerrado	44

Fig. 55. Ensamble de mangueras a precalentador	44
Fig. 56. Ensamble de conexiones a precalentadores	45
Fig. 57. Ensamble terminado de precalentadores	45
Fig. 58. Representación de ensamble de precalentadores a las bases individuales de los tubos	46
Fig. 59. Cepillo	46
Fig. 60. Chumacera para cepillos	46
Fig. 61. Ensamble de cepillos a soporte	47
Fig. 62. Ensamble de los diez cepillos al soporte	47
Fig. 63. Ensamble de motor a soporte	48
Fig. 64. Ensamble de bloques a placa soporte del motor	48
Fig. 65. Representación de ensamble de cepillos dentro de tubos de cuarzo	48
Fig. 66. Ensamble de estructura en la fase de síntesis	49
Fig. 67. Ensamble de estructura en la fase de limpieza	49
Fig. 68. Ensamble de estructura en la parte central de los rieles	49
Fig. 69. Ensamble de estructura en la parte de aspirado en la estación de síntesis	50
Fig. 70. Ensamble de estructura en la cara frontal de la máquina	50
Fig. 71. Ensamble de estructura en la fase aspirado en la estación de limpieza	50
Fig. 72. Ensamble de placa soporte para matraces de ferroceno y bomba peristáltica	51
Fig. 73. Dimensiones de máquina NTC terminada, vista superior	51
Fig. 74. Dimensiones de máquina NTC terminada, vista frontal	52
Fig. 75. CNT-LC-1	52

## Índice de tablas

Tabla 1. Descripción por pasos de Proceso CVD-CIMAV	15
Tabla 2. Requerimientos puntualizados para el diseño	24
Tabla 3. Necesidades de diseño	28
Tabla 4. Comparativa de propuestas	37

006950

# 1. Introducción

## 1.1. Resumen

Actualmente se ha incrementado significativamente el estudio y el desarrollo de Nanotubos de Carbono (NTC), ya que tienen aplicaciones científicas y comerciales entre otras, por lo que se requiere aumentar la fabricación de los mismos<sup>5</sup>. Un proceso para producirlos es llamado Deposición de Vapor Químico (CVD), el cual consiste en originar una reacción al interior de un tubo de cuarzo<sup>4</sup>.

El presente trabajo consiste en el diseño de una máquina para producción de NTC por el método CVD, la cual está inspirada en un diseño anterior de un sistema que tiene el mismo propósito, pero elementos y funciones mecánicas diferentes.

El sistema anterior consiste en una máquina con cuatro estaciones de trabajo en las que se realizan los siguientes procesos: síntesis, enfriamiento, limpieza y extracción. La idea era tener un grupo de tubos de cuarzo en cada estación, y tanto el acomodo de los tubos como la forma interna del horno -en la parte de síntesis- son de manera circular, ya que uno de los objetivos que se perseguía era lograr la validación de dicha geometría en el horno para comprobar si tenía una mejor homogeneización en la temperatura interna.

La máquina que se expone en el presente trabajo tiene referencia en la descripción anterior, no obstante se realizan optimizaciones y modificaciones importantes, tales como:

- Cambiar a geometría lineal el horno en la parte de síntesis
- Tener una disposición lineal de los tubos de cuarzo
- Contar sólo con dos grupos de tubos de cuarzo
- Juntar en una sola etapa el proceso de limpieza y extracción, y de esta manera tener sólo dos estaciones en total
- Considerar en el diseño un cambio en la longitud de los tubos de cuarzo, ampliarla en 20cm

Teniendo todo lo anterior considerado, se propusieron tres conceptos de máquina; cada uno con funciones mecánicas diferentes. Se hizo una comparación de estas propuestas conforme a ciertos parámetros para finalizar en una ideología de máquina. Se realizó una simulación en 3D del diseño resultante como óptimo para representar su función.

Finalmente se detallan los ensambles de las partes de la máquina en las que hubo mayores cambios conforme al diseño que se tomó de base.

## 1.2. Antecedentes

El Centro de Investigación de Materiales Avanzados (CIMAV), con sede en Chihuahua, Chih., es un centro adscrito al CONACYT, en el cual se estudia el desarrollo de materiales y sus aplicaciones. En años recientes ha incursionado en el desarrollo de la nanotecnología, no sólo a nivel nacional sino también a nivel mundial<sup>8</sup>.

El CIMAV desarrolla proyectos sobre diferentes aplicaciones y modificaciones de optimización al proceso para la producción de NTC. Para ello requerían del diseño y construcción de una planta de producción continua que pudiera facilitar la variación de diferentes parámetros como presión, tiempo y temperatura dentro del proceso de fabricación<sup>8</sup>.

En enero de 2009, el laboratorio de nanotecnología incorporado en el CIMAV desarrolló un nuevo proceso de producción de NTC, basado en la técnica de CVD, y realizó trámites para proceso de patente sobre esto. El proceso a nivel laboratorio tuvo una producción de NTC de 3.5gr/día<sup>8</sup>.

Ante estos resultados, se planteó la necesidad de desarrollar una planta de producción continua, para lo cual se pide colaboración al Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI) para diseñar y construir una planta piloto de producción continua de NTC mediante el proceso CVD, para incrementar la producción obtenida a nivel laboratorio<sup>8</sup>.

Una primera máquina fue realizada por el CIDESI (NTC-CVD-V1) basada en el proceso de síntesis desarrollado en laboratorio por el CIMAV. El resultado de este primer ingreso a esta tecnología, arrojó un prototipo que aumentó la producción de laboratorio en un 700%, dando una punta de lanza para la creación de máquinas con un escalamiento superior a 10 veces, superando las expectativas requeridas, donde se visualizan avances en calidad y control de crecimiento de NTC dentro de un medio inerte<sup>5</sup>.

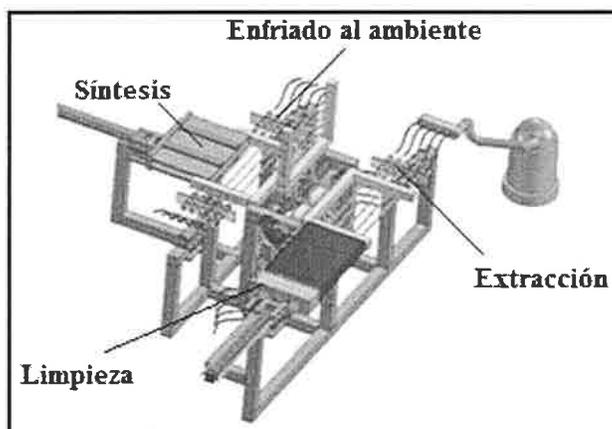


Fig. 1. Esquema de Diseño Conceptual NTC-CVD-V1<sup>5</sup>.

*Estación de Síntesis.* Se precalienta el horno hasta 800°C, al llegar es necesario un tiempo para homogeneizar la temperatura del interior; después se abre el flujo a los gases y reactivo para empezar la síntesis, este proceso dura 20 minutos. Posteriormente se retira el horno, enfriándose los tubos de cuarzo hasta 400°C, evitando la oxidación de los nanotubos<sup>4</sup>.

*Estación de Enfriamiento.* Como se mencionó al finalizar la etapa de síntesis, se apaga el horno hasta que la temperatura de éste descende a 400°C. Se rota el soporte a la parte superior de la unidad, permitiendo el decremento de la temperatura hasta la ambiental, al mismo tiempo otro soporte realiza síntesis, logrando que el proceso sea continuo<sup>4</sup>.

*Estación de Extracción.* El sistema gira a la tercera estación, en la cual dispositivos extractores manufacturados de forma especial, aspiran para evitar que la superficie de los tubos de cuarzo se dañe. Los dispositivos extractores se trasladan a lo largo del tubo de forma giratoria, para extraer los NTC de la superficie del tubo de cuarzo y serán succionados y recolectados mediante una presión negativa, conectada al final de la estación<sup>4</sup>.

*Estación de Limpieza.* Después de la extracción se deben limpiar los tubos de cuarzo de cualquier residuo de Hierro, ya que si los hubiera cuando se vuelva a calentar, tenderían a oxidarse y no crecerían NTC en la superficie<sup>4</sup>.

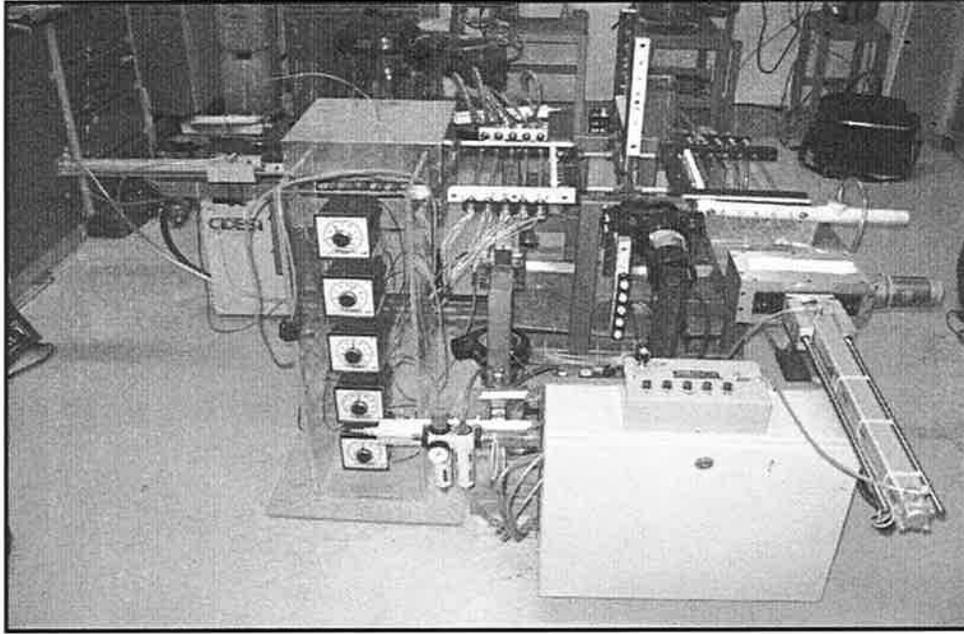


Fig. 2. Máquina para fabricación de NTC por CVD, Versión 1<sup>5</sup>.

Los resultados obtenidos en esta primera versión fue una producción de 1.6gr/hr<sup>8</sup>.

Durante las pruebas de la máquina se detectaron algunas áreas de oportunidad, donde la mayor provenía del diseño del horno, ya que su forma no permite una buena homogeneización de la temperatura teniendo como consecuencia una reducción en la eficiencia de la máquina<sup>5</sup>. El mayor problema vino de la disposición de los tubos de cuarzo, ya que la distribución alineada de los mismos **en un horno en forma de "U"** no permite una buena homogeneización de la temperatura, disminuyendo el rendimiento de la máquina<sup>9</sup>. Debido a esto se decidió diseñar una nueva versión para la fabricación de una máquina de NTC para solucionar el problema de temperatura, así como crear una estructura que permita colocar una mayor cantidad de tubos de cuarzo de mayor tamaño; por lo que la necesidad de esta nueva configuración es que permita alojar una mayor superficie donde crecerán los NTC<sup>5</sup>.

En un esfuerzo por resolver el problema se crea una nueva versión de la máquina. Ésta con una configuración circular de sus ahora dos hornos que la hacen ser de mayores dimensiones, –y que de hecho es la máquina en que está inspirado el diseño del presente trabajo y de la cual se tomaron ciertos parámetros de diseño para que aún cuando se cambie la geometría del horno, no se vea afectado el proceso-. De igual manera permite un proceso continuo a temperatura constante y mantenerla durante la jornada, con una etapa de precalentamiento<sup>5</sup>.

Otro de los objetivos era la realización de un elemento que permitiera colocar 10 tubos de cuarzo en forma circular<sup>9</sup>.

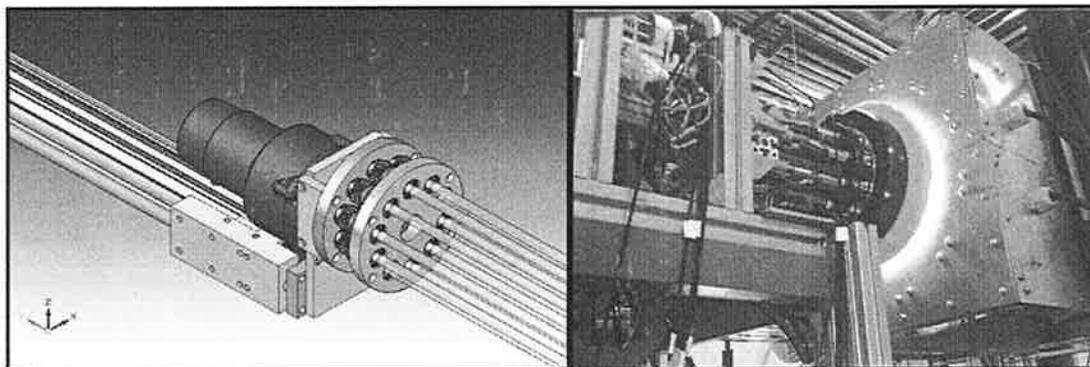


Fig. 3. Configuración circular de los tubos de cuarzo y horno<sup>8</sup>.

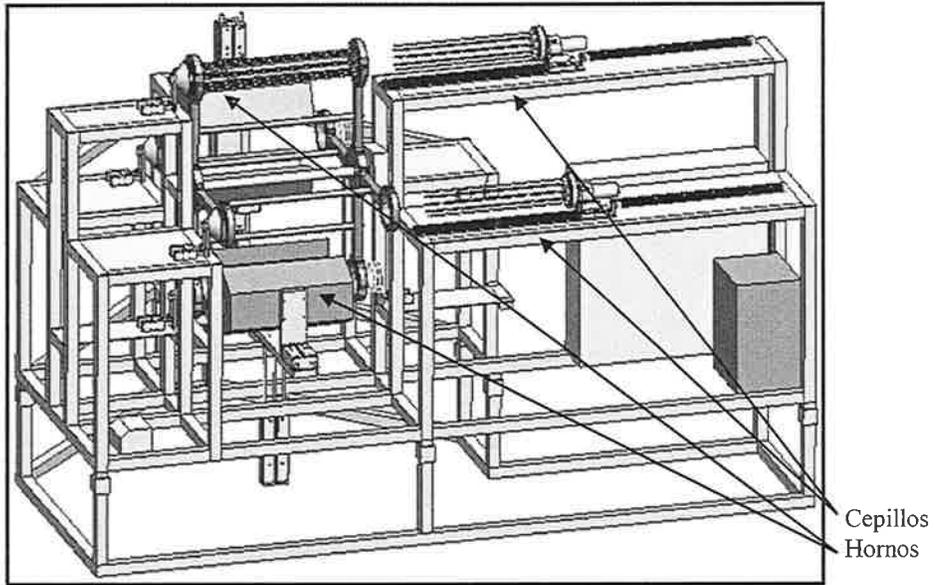


Fig. 4. Diseño conceptual de máquina con hornos circulares<sup>8</sup>.

Debe permitir un posicionamiento específico de la ruleta para conseguir una buena utilización de los cepillos<sup>9</sup>.

### 1.3. Definición del Tema

Este trabajo consta del diseño conceptual de una máquina cuyo fin es producir continuamente NTC. Algunos parámetros esenciales de diseño se tomaron de una investigación previa que los determinó como ciertos, entre los cuales se incluyen ciertas magnitudes, geometrías, y espacios, que se deben respetar para tener un correcto aprovechamiento de la energía suministrada.

La máquina que sirvió de base para el presente diseño consta de cuatro estaciones de procesado, en las que se llevan a cabo las tareas de: síntesis, enfriamiento, limpieza y extracción. La máquina que se propone en este proyecto sintetiza el trabajo para que con sólo dos estaciones de proceso se cumpla lo mismo. Esto se logrará, aprovechando que el tiempo de síntesis y enfriamiento -dentro del horno- es el más tardado, y a la par se estarán haciendo las otras dos tareas en la otra estación.

El segundo cambio principal que habrá en el presente proyecto es la nueva geometría del horno donde se sintetizan los nanotubos, que en vez de ser circular será rectangular, para poder tener una disposición lineal de los tubos de cuarzo.

Dentro de los demás cambios que se consideran para este nuevo diseño, es la longitud de los tubos de cuarzo, la cual será de 120cm; esto porque así se fabrican y antes había que cortarlos a 100cm, lo cual era un proceso complicado por los cuidados que requiere el cuarzo. El dejarlos con la longitud de fabricante no altera el proceso de creación de NTC.

Las razones por las que se planearon todas estas modificaciones fueron:

- Primeramente para simplificar el trabajo al tener una máquina más simple, con menos elementos.
- Para que si llegase a fallar alguna lámpara, simplemente dejaría de funcionar la sección del horno que la contiene --lo cual por simulaciones térmicas ya se comprobó que no afectaría en absoluto a la temperatura del resto del horno, a diferencia del horno de geometría circular, en el que si esto sucedía todo el interior se veía afectado-.
- Asimismo porque por simulación térmica, se contestó a la hipótesis que se tenía: si con un horno "lineal" y cerrado habría mejor homogeneidad en la temperatura.

Estando consciente de las nuevas integraciones que debe llevar el proyecto, se hicieron tres propuestas para la nueva máquina. Cada una de ellas se diseñó en 3D mediante el software SolidWorks®, y la óptima se llevó a simulación para ver su comportamiento mecánico.

#### 1.4. **Justificación**

Recientemente el desarrollo de NTC se ha ido incrementado significativamente, por ser utilizados para diferentes aplicaciones, derivándose en la necesidad de aumentar la fabricación de estos<sup>5</sup>. Debido a la demanda que existe en la actualidad de NTC, ya sea para su estudio o aplicaciones, se propone aumentar la producción.

Se tenía la máquina con el horno de manera circular, pero por estudios realizados se ha determinado que sería más homogéneo el proceso de transferencia de calor en una máquina con una configuración lineal de sus tubos de cuarzo y del horno –siempre que se cumplan ciertos parámetros de diseño que resultaron del estudio sobre el horno circular-. Además al reducirse a sólo dos estaciones de procesado, es más simple su funcionamiento y se tiene una máquina con menos elementos y por tanto más simple.

Sabiendo esto ahora lo que se busca es idear una nueva disposición de los elementos para llegar a esta máquina.

## 1.5. **Objetivos**

### 1.5.1. **Objetivo General**

- Realizar el diseño conceptual de una máquina para producir de forma continua Nanotubos de Carbono por el método de Deposición de Vapor Químico, que contenga un horno con disposición lineal, así como el acomodo de los tubos de cuarzo.

### 1.5.2. **Objetivos Específicos**

- Apegar dicho diseño a una investigación previa sobre un horno similar, obedeciendo ciertos puntos que de ella resultaron como verdaderos.
- Cambiar una parte del diseño para agrupar en una sola estación, el proceso de limpieza y extracción.
- Incluir en el nuevo diseño un cambio en la longitud de los tubos de cuarzo, para que sean de 120cm.
- Simular en el Software SolidWorks® el diseño aceptado como óptimo para idear su funcionamiento real: evaluar posibles interferencias, comportamiento del mecanismo y de los elementos seleccionados.

## 2. Fundamentos

### 2.1. Nanotubos de Carbono y Proceso CVD

Desde la década de los años 50 se ha venido investigando sobre una nueva ciencia que promete soluciones vanguardistas y más eficientes para los problemas ambientales, a ésta se denominó nanociencia o nanotecnología<sup>4</sup>.

Los primeros datos registrados sobre la existencia de nanotubos de carbono fueron en 1952, pero fueron descubiertos de manera oficial hasta 1991 por Iijima. En principio su investigación fue con fines académicos pero para el año 2000 se investigó a fondo sobre su posible uso industrial<sup>4</sup>.

Los NTC son utilizados en diferentes campos, como en medicina, nanoelectrónica<sup>4</sup>, ya que tienen extraordinarias propiedades mecánicas y electrónicas que han sido probadas tanto teórica como experimentalmente<sup>3</sup>.

Los nanotubos de carbono son una forma alotrópica del carbono, como el diamante o el grafito. Su estructura puede considerarse procedente de una lámina de grafito enrollada sobre sí misma. Dependiendo del grado de enrollamiento y la manera como se conforma la lámina original, el resultado puede llevar a nanotubos de distinto diámetro y geometría interna. Existen nanotubos monocapa como multicapa, cuya estructura se asemeja a la de una serie de tubos concéntricos, unos dentro de otros y de diámetros crecientes desde el centro hasta la periferia<sup>4</sup>.

Existen varios métodos para la obtención de nanotubos de carbono, como lo son: método del sustrato, método del catalizador flotante, por ablación láser, por descarga de arco o por deposición de vapor químico (CVD)<sup>5</sup>.

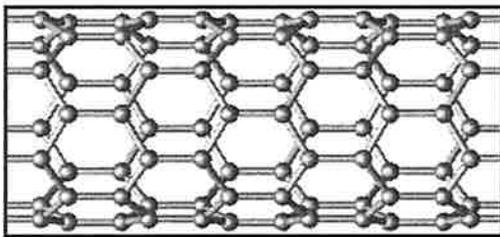


Fig. 6. Representación de un nanotubo monocapa<sup>5</sup>.

Normalmente en este método se prepara un sustrato con una capa de metal, como el níquel, cobalto, oro o una combinación de éstos. Las nanopartículas de metal se pueden producir también por varios medios. El sustrato se calienta aproximadamente a unos 700°C. Para iniciar el incremento de nanotubos se mezclan dos gases en el reactor, un gas de proceso, como puede ser amoníaco, nitrógeno, hidrógeno, entre otros, y otro gas que se usa como fuente de carbono tal como acetileno, etileno, etanol, metano, etc<sup>4</sup>.

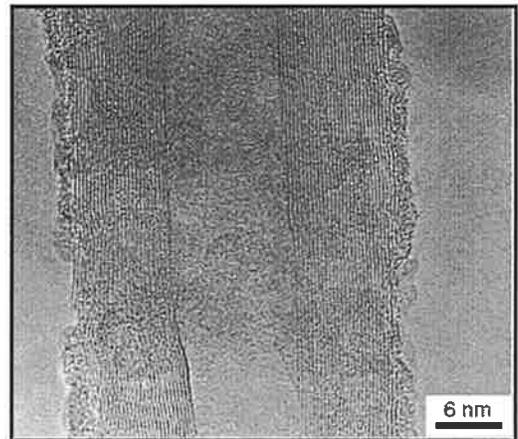


Fig. 5. Micrografía de un nanotubo de carbono multicapa<sup>3</sup>.

En el proceso de CVD se introduce una solución rica en carbono en un horno para elevarla a una temperatura alta y lograr una reacción química formando así NTC<sup>5</sup>.

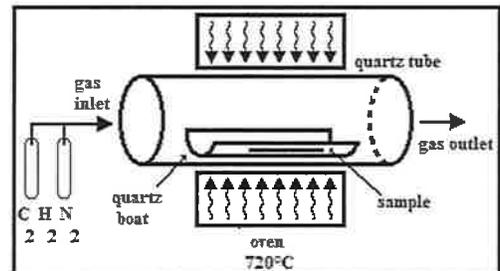


Fig. 7. Proceso CVD<sup>4</sup>.

## 2.2. Proceso Desarrollado por CIMAV para producción de NTC

“Los NTC se forman a partir de la circulación de un gas inerte y otros químicos en el interior de un tubo de cuarzo, el cual se encuentra en un medio de temperatura alta dentro de un horno. El gradiente de temperatura existente provoca la separación de los reactivos en sus diferentes componentes, los cuales dan parte a la formación de NTC sobre sustrato”<sup>8</sup>.

Definido por pasos en cada grupo de tubos:

Grupo 1 de tubos de cuarzo	Grupo 2 de tubos de cuarzo
-Introducción de gases inertes en tubos de cuarzo	-Limpieza con cepillos para extracción de NTC
-Calentamiento de los tubos de cuarzo	-Selección de los NTC gracias a un ciclón
-Síntesis de NTC	

Tabla 1. Descripción por pasos de Proceso CVD-CIMAV.

Descrito a detalle, el proceso comienza desde un tanque, el cual contiene argón, y es transportado por una manguera de silicón a razón de 0.1 lt/min. El argón es llevado hasta la etapa de precalentamiento, la cual consta de una boquilla con una resistencia interna que calienta el gas hasta aproximadamente 300°C. Esta boquilla tiene dos conductos de entrada, por uno de ellos pasa el argón y por el otro pasa ferroceno, el cual viene de una bomba peristáltica que lo succiona desde un matraz, a una velocidad de 1 ml/min. La mezcla de estos dos componentes es nebulizada por la boquilla hacia dentro del tubo de cuarzo. Los tubos de cuarzo se encuentran dentro del horno, que al ser encendido debe alcanzar una temperatura entre los 870 y los 890°C para el correcto sintetizado de los NTC. Este proceso lleva alrededor de 10min. Después se apaga el horno y se dejan los tubos dentro alrededor de 20min. Dentro de este paso hay cierto “desperdicio” de gases que no pueden ser aprovechados; sin embargo son aspirados por el otro extremo del tubo y se hacen pasar por un intercambiador de calor (cooler) para ser condensados. A la salida del cooler los residuos de ferroceno impuro son llevados a unos tanques de acero inoxidable, donde serán neutralizados por medio de carbón activado. Después de esto termina la primera parte del proceso -llamado síntesis- en un conjunto de tubos de cuarzo.

Simultáneamente en un segundo conjunto de tubos de cuarzo se está realizando el proceso de limpieza y extracción; el cual consiste en la introducción de unos cepillos de manufactura especial, por un extremo de los tubos y por el otro extremo se conecta una terminal de aspiradora que succiona los NTC para hacerlos pasar a través de un ciclón.

## 2.3. Parámetros de diseño del horno

Dentro de las especificaciones y la selección de los materiales para el desarrollo de este horno –y que son los parámetros que se deben respetar al considerar el diseño presentado para que no se vea afectado el proceso- se tienen:

**Reflectores.** Se escogió el aluminio 6061-T6 debido a las siguientes ventajas<sup>5</sup>.

- Por la capacidad calorífica específica que puede soportar el material durante el encendido de los hornos.
- La baja densidad del aluminio comparada con el acero inoxidable da como resultado un reflector más ligero. El menor peso del reflector de aluminio reduce los requerimientos de estructura y la colocación de estos es más sencilla.
- La conductividad térmica del aluminio es mayor que la del acero, lo cual tiene un efecto directo en la eficiencia de la transferencia de calor; en cuanto mayor sea este valor es mejor. Por pruebas realizadas se concluyó que los reflectores fabricados con aluminio tendrán una capacidad de enfriamiento del 12 al 15% mayor que los fabricados en acero.
- Por la capacidad del aluminio de ser pulido para dar una mayor reflexión<sup>5</sup>.

Las medidas especificadas por dicha investigación son (en mm):

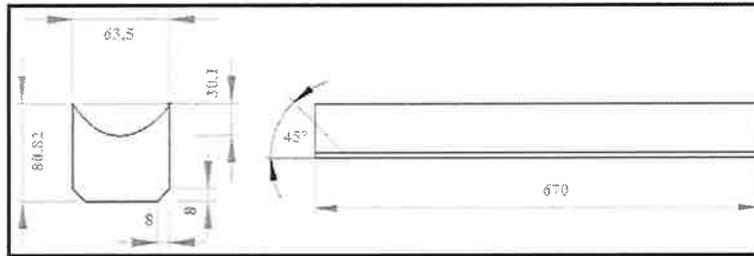


Fig. 8. Medidas para los reflectores de aluminio<sup>5</sup>.

**Tubos.** Debido a la necesidad de encontrar una superficie lisa y un medio apropiado para el crecimiento de NTC, teniendo en cuenta la temperatura que sobrepasará los 800°C, se decidió utilizar tubos de cuarzo<sup>5</sup>. Las medidas se expresan en mm, y se hace hincapié en que la longitud de los tubos cambiará a 1,200mm debido a lo explicado anteriormente.

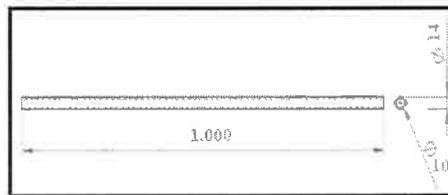


Fig. 9. Medidas de los tubos de cuarzo<sup>5</sup>.

**Lámparas infrarrojas.** De acuerdo al proceso para crecimiento de NTC es necesario elevar la temperatura en un rango de 700-900°C, y se utilizaron lámparas infrarrojas debido a la siguiente<sup>5</sup>:

- Capacidad de encendido al 100% en menos de 1 minuto.
- Es una tecnología limpia.
- Capacidad de control.
- Homogeneidad de temperatura transmitida.
- Sustitución rápida en caso de falla<sup>5</sup>.

Las medidas en que se fabrican las lámparas son 711mm de longitud:

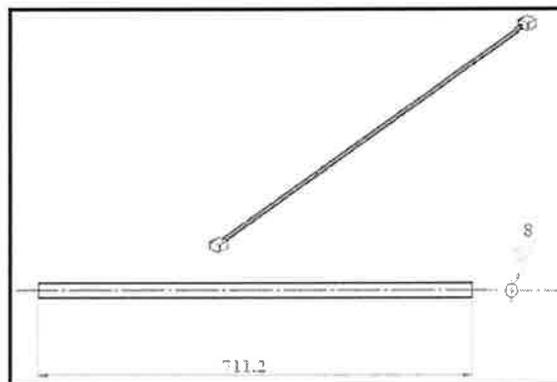


Fig. 10. Representación y medidas de lámparas infrarrojas<sup>5</sup>.

Debido a las altas temperaturas que se manejan en este sistema se debe usar sellos y O-ring de vitón que según los estudios resisten sin problema.

## 2.4. Diseño en Ingeniería

ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) define Ingeniería como:

La profesión en la cual el conocimiento matemático y de las ciencias naturales adquirido mediante el estudio, la experiencia y la práctica son aplicados con juicio para desarrollar medios para utilizar económicamente, los materiales y las fuerzas de la naturaleza para el beneficio de la humanidad<sup>1</sup>.

ABET define la parte de la Ingeniería que corresponde al diseño como:

El diseño en ingeniería es el proceso de concebir un sistema, componente o proceso para cumplir las necesidades. Es una toma de decisiones (proceso generalmente iterativo) en el cual las ciencias básicas y las matemáticas y ciencias de la Ingeniería son aplicadas para transformar recursos de manera óptima para cumplir con cierto objetivo. Entre los elementos fundamentales del proceso de diseño está el establecimiento de objetivos y parámetros, síntesis, análisis, construcción, puesta a prueba y evaluación<sup>1</sup>.

Hay dos razones principales para el uso de un método racional para llevar a cabo el diseño en ingeniería, una de ellas es que con el uso de un procedimiento de este tipo los ingenieros tienen más facilidad para organizar toda la información de entrada que puedan tener para comenzar. Otra razón es que con un procedimiento en común, les es mucho más fácil a los ingenieros interactuar entre ellos<sup>1</sup>. Aunque existen numerosas metodologías para el diseño, por lo general se asimilan en sus pasos, que son:

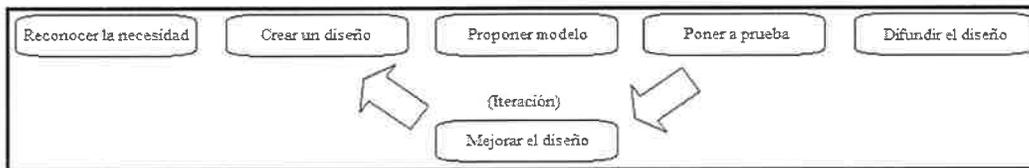


Fig. 11. Proceso de diseño de seis pasos<sup>1</sup>.

1. Reconocer la necesidad. Es tal vez el más importante de los pasos. Una cuidadosa identificación de la necesidad puede ahorrar tiempo y energía después durante el ciclo de diseño. En la identificación de la necesidad está el entendimiento de las restricciones reales del problema. Una vez hecho esto, habría que estarlo revisando constantemente durante el diseño<sup>1</sup>.

2. Crear un diseño. Una vez reconocida la necesidad de forma concisa lo que sigue es comenzar a crear ideas de diseño que satisfagan la necesidad. Este proceso es el que requiere más ingenio e imaginación<sup>1</sup>. Cuando se considera un diseño usualmente se encuentra que los requerimientos y las restricciones de los diferentes componentes del diseño están interrelacionados. Así al diseñar por ejemplo el resorte de una válvula de motor automotriz depende del espacio con que se cuente para colocar el mismo; lo que a su vez representa una restricción del requerimiento de espacio para el puerto de la válvula, los conductos del refrigerante, la apertura para las bujías, etc.<sup>2</sup>.

3. Proponer modelo. Una vez que ha sido concebida la idea, se vuelve necesario encontrar un medio para evaluar su calidad para la satisfacción del requerimiento. La manera de hacer esto sería construir la idea concebida. Este proceso usualmente es impráctico por razones de tiempo, costo y esfuerzo. Para ahorrar en estos tres factores, frecuentemente hacen uso de un modelo simplificado para evaluar una idea de diseño. El modelo puede ir desde una concepción mental hasta una reproducción física-matemática compleja del concepto propuesto<sup>1</sup>. Anteriormente los ingenieros consideraban principalmente los aspectos de funcionalidad y economía del dispositivo. Y que es en parte porque si una idea no es costeable o funcional, simplemente no tiene caso seguir con ella. Aunque siempre se han tenido en cuenta los aspectos de seguridad en las máquinas, ahora la demanda enfatiza el aumento de la misma en los sistemas<sup>2</sup>.

4. Puesta a prueba. Después que el modelo ha sido preparado, debe ser ejercitado<sup>1</sup>.

5. Mejorar el diseño. Como resultado de las pruebas aplicadas, se debe hacer un análisis métrico del éxito-falla de la idea, para saber si es más conveniente abandonar la idea o mejorarla. Este paso puede regresar al de creación, si se decide probar nuevas ideas o modificar algunas existentes. Habrá que tener en cuenta que los problemas de diseño en ingeniería pueden tener varias soluciones factibles<sup>1</sup>.

6. Difundir el diseño. Si la idea no es propiamente comunicada no se podrá desarrollar un producto o proceso exitoso<sup>1</sup>.

## 2.5. Comandos principales de Software SolidWorks® utilizados para construir la máquina

SolidWorks® es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft® Windows®, que dentro de sus características generales contiene módulos para realizar: piezas, ensamblajes, dibujo, simulación/movimiento, CAD, lista de materiales, superficies, entre otros<sup>6</sup>.

Dentro de los comandos y operaciones que se utilizaron para realizar todas las piezas que componen el ensamble de la máquina están:

3. **Croquis.** Todo proceso de creación de un modelo tridimensional requiere la definición inicial de un croquis en 2D al que se le dota de una tercera dimensión para obtener un sólido o superficie en tres dimensiones.

### *Procedimiento*

Estando en un archivo nuevo:

- Seleccionar un **Plano de Trabajo** desde el **Gestor de Diseño**,
- Pulsar sobre el Ícono de **Croquis** desde la Barra de Herramientas,
- Seleccionar la Herramienta de Croquizado deseada (**Línea**, **Círculo**, **Rectángulo**, etc.) desde la **Zona de Gráficos**,
- Acotar cada una de las dimensiones del croquis con la Herramienta **Cota Inteligente**,
- Pulsar sobre cualquier **Operación** tridimensional activa, por ejemplo **Extruir**<sup>6</sup>.

Dentro de la Función de **Croquis**:

### 3.1. **Línea.**

#### *Procedimiento*

- Pulsar Ícono **Línea**,
- Seleccionar el punto inicial y el punto final de la línea,
- Ajustar a la medida deseada con la Herramienta **Cota Inteligente**<sup>6</sup>.

### 3.2. **Rectángulo.**

#### *Procedimiento*

- Pulsar Ícono **Rectángulo**,
- Seleccionar la esquina inicial y la esquina final del rectángulo,
- Ajustar a la medida deseada con la Herramienta **Cota Inteligente**<sup>6</sup>.

### 3.3. **Círculo.**

#### *Procedimiento*

- Pulsar Ícono **Círculo**,
- Seleccionar el centro del círculo y el punto final del diámetro,
- Ajustar a la medida deseada con la Herramienta **Cota Inteligente**<sup>6</sup>.

#### 3.4. Arco de tres puntos.

##### *Procedimiento*

- Pulsar Ícono **Arco**,
- Seleccionar el punto inicial y el punto final,
- Indicar con el cursor el Radio y Centro del Arco<sup>6</sup>.

#### 3.5. Línea Constructiva. Son líneas de trazo y punto empleadas en la creación de simetrías 2D y en la definición de ejes para construcción de piezas de revolución.

##### *Procedimiento*

- Pulsar Ícono **Línea Constructiva**,
- Seleccionar el punto inicial y el punto final de la línea,
- Ajustar a la medida deseada con la Herramienta **Cota Inteligente**<sup>6</sup>.

#### 3.6. Simetría. Permite crear una simetría de una o más entidades de croquis a partir de una **Línea Constructiva** previamente seleccionada. Crea una simetría después de seleccionar las entidades y el eje de simetría.

##### *Procedimiento*

- Seleccionar las entidades para hacer simetría,
- Seleccionar el eje de simetría (**Línea Constructiva**)<sup>6</sup>.

#### 3.7. Redondeo de Croquis. Recorta la esquina formada por la intersección de dos entidades de croquis e inserta un arco tangente a ambas.

##### *Procedimiento*

- Pulsar Ícono **Redondeo**,
- Seleccionar las entidades sobre las que se desea redondear,
- Definir el Radio<sup>6</sup>.

#### 3.8. Chaflán. Crea un chaflán por la selección de dos entidades adyacentes en un croquis.

##### *Procedimiento*

- Pulsar Ícono **Chaflán**, con especificación de **Distancia-Distancia**,
- Seleccionar las dos **Aristas** donde se va a aplicar el chaflán,
- Indicar los valores para cada distancia<sup>6</sup>.

#### 3.9. Equidistanciar entidades. Crea una copia equidistante de una o más entidades de un croquis o del perfil de la cara de un modelo. Puede realizarse en una u otra Dirección o ambas.

##### *Procedimiento*

- Pulsar Ícono **Equidistanciar entidades**,
- Seleccionar las entidades,
- Indicar la distancia y dirección de la operación<sup>6</sup>.

3.10. **Extender entidades.** Alarga una entidad hasta otra entidad de croquis.

*Procedimiento*

- Pulsar Ícono **Extender entidades**,
- Seleccionar la entidad que se desea extender (teniendo previamente otra entidad más delante hasta la cual la primera se pueda extender)<sup>6</sup>.

3.11. **Recortar entidades.** Recorta entidades donde hay un entrecruce de las mismas.

*Procedimiento*

- Pulsar Ícono **Recortar entidades** y especificar **Recortar hasta más cercano**,
- Seleccionar cada entidad a eliminar (ésta se recortará hasta el límite más cercano)<sup>6</sup>.

3.12. **Matriz Lineal.** Crea una matriz lineal de una o varias entidades de croquis.

*Procedimiento*

- Pulsar Ícono **Matriz Lineal**,
- Seleccionar las entidades para la matriz,
- Elegir **Dirección 1** (o si se va a hacer en dos direcciones seleccionar **Dirección 2**),
- Seleccionar alguna **Línea** o **Arista** que corresponda a la (o las) dirección deseada,
- Introducir el **Número de entidades** a copiar,
- Indicar su separación<sup>6</sup>.

4. **Operación.** Son cada una de las herramientas de las que se dispone para diseñar las piezas. Forman un conjunto de funcionalidades que permiten crear Operaciones como **Extrusión**, **Revolución**, **Recubrimiento**, **Barrido**, etc<sup>6</sup>.

Dentro de las operaciones utilizadas dentro del diseño de esta máquina están:

4.1. **Extrusión.** Da una altura a un área cerrada o cualquier tipo de geometría plana.

*Procedimiento*

Una vez creado un **Croquis** en un **Plano de trabajo**:

- Pulsar Ícono **Extrusión/Saliente**,
- Especificar la **Altura**, **Número de Direcciones** y **Sentido**<sup>6</sup>.

4.2. **Extrusión corte.** Genera una operación de diferencia o resta entre dos objetos tridimensionales asociados. Elimina el material de intersección entre la Extrusión de un croquis y el sólido ya existente.

*Procedimiento*

Teniendo un **Croquis** dibujado sobre la cara de un sólido:

- Pulsar Ícono **Extrusión corte**,
- Definir la **altura** o **profundidad** al igual que en la operación de Extrusión<sup>6</sup>.

- 4.3. **Revolución.** Crea sólidos a partir de una o más generatrices que definen un perfil a través de una **Línea constructiva**. Para la construcción de un sólido de Revolución se croquiza el perfil a revolucionar y se indica la línea de Revolución que puede ser croquizada o seleccionada de la misma geometría a revolucionar.

*Procedimiento*

Una vez croquizado un dibujo:

- Pulsar Ícono **Revolución/base**,
- Seleccionar el croquis a revolucionar así como el eje de referencia para la Revolución,
- Indicar el número de grados para la revolución así como la dirección<sup>6</sup>.

- 4.4. **Redondeo.** Crea una cara interna o externa redonda en el modelo. Se pueden redondear aristas.

*Procedimiento*

Una vez que se tiene un sólido.

- Pulsar **Redondeo**,
- Seleccionar arista, cara o conjunto de caras,
- Especificar si es radio constante o variable e introducir la medida<sup>6</sup>.

- 4.5. **Chaflán.** Crea una geometría en forma de bisel en las aristas, caras o vértices seleccionados.

*Procedimiento*

Una vez que se tiene un sólido:

- Pulsar **Chaflán**,
- Seleccionar vértice (previa especificación), arista, cara o conjunto de caras,
- Especificar si es por distancias o por distancia y ángulo; especificar las medidas<sup>6</sup>.

- 4.6. **Saliente/Base barrido.** Esta operación crea un saliente, corte o superficie por el movimiento de un **Perfil** o sección a lo largo de un camino o **Trayecto**. El **Perfil** y el **Trayecto** croquizados deben estar contenidos en croquis diferentes. El **Trayecto** puede ser una geometría cerrada o abierta, pero el **Perfil** debe ser cerrado. El **Trayecto** debe iniciarse en el **Plano** en que está contenido el **Perfil** y no deben entrecruzarse.

Una vez que se tienen los dos croquis, de manera perpendicular uno del otro:

*Procedimiento*

- Seleccionar **Saliente/Base barrido**,
- Seleccionar el croquis del **Perfil**,
- Seleccionar el croquis del **Trayecto**,
- Seleccionar especificaciones<sup>6</sup>.

- 4.7. **Matriz Lineal.** Permite copiar una o más operaciones, croquis, sólidos o caras de forma uniforme en una o dos direcciones al mismo tiempo.

*Procedimiento*

- Seleccionar **Matriz Lineal**,
- Seleccionar la entidad a copiar,
- Especificar las direcciones y las distancias que habrá entre una y otra<sup>6</sup>.

- 4.8. **Simetría.** Permite crear una copia de una operación o conjunto de operaciones respecto a un **Plano de Simetría**.

*Procedimiento*

- Seleccionar **Simetría**,
- Seleccionar las operaciones a copiar,
- Seleccionar el plano de referencia<sup>6</sup>.

Para formar los conjuntos de piezas ya construidas por separado, se utiliza la opción de **Ensamble** y se especifica cuando se crea un archivo nuevo.

5. **Ensamble.** Consiste en insertar piezas realizadas en el **Módulo de pieza** y establecer las **Relaciones de posición** entre cada una de ellas. Se pueden insertar las mismas piezas más de una vez, o incluso otros ensambles.

- 5.1. **Relaciones de posición.** Después de insertar los componentes dentro de un **Ensamble**, se debe definir las relaciones que habrá entre ellos. Éstas permiten situar cada pieza en su verdadera posición y conseguir que cada una de ellas tenga unos movimientos restringidos en relación con el resto del ensamblaje y sus grados de libertad. Las **Relaciones de posición** que se pueden definir son de: **Concentricidad, Paralelismo, Perpendicularidad, Ángulo, Distancia y Tangencia**. Cada una de ellas es válida para combinaciones específicas de geometría.

## 3. Procedimiento

Para desarrollar el diseño del sistema se siguió la metodología propuesta en el apartado de **Fundamentos**, que consta de 6 pasos; pero debido al alcance del proyecto sólo se abarcaron los primeros 5, que son:

1. Reconocer la necesidad
2. Crear un diseño
3. Proponer modelo
4. Poner a prueba
5. Mejorar el diseño (iteración)

### 3.1. Reconocer la necesidad

Dentro de las necesidades generales está el que sea un proceso continuo, así como que se realicen las 4 fases: **síntesis, enfriamiento, limpieza y extracción**.

Para comprender mejor el proceso se hace uso del siguiente diagrama que representa solamente la parte del proceso que interesa para el diseño, es decir los pasos principales mostrando los elementos y la secuencia de operación en que se va a utilizar cada uno.

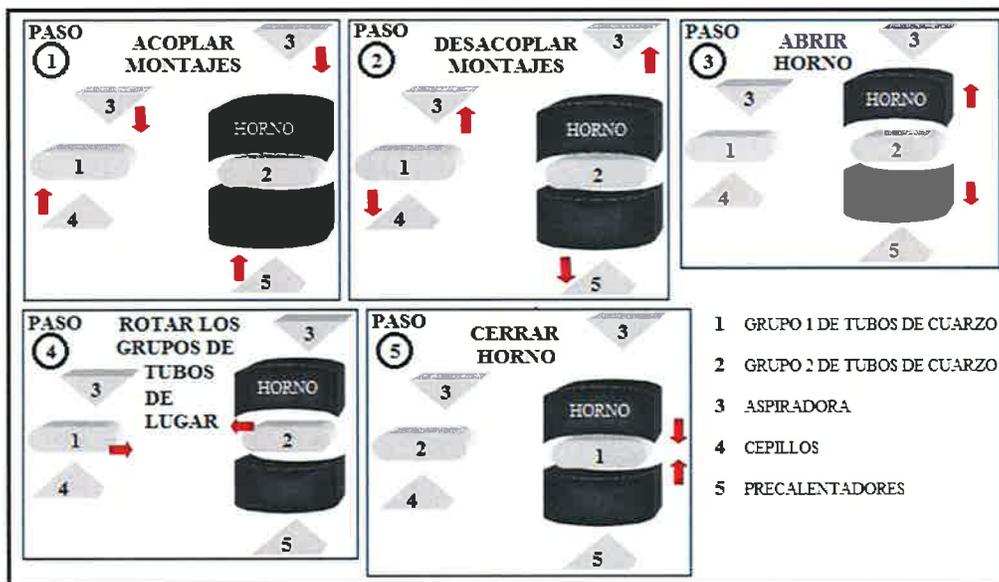


Fig. 12. Esquema general del proceso.

Las necesidades específicas se dividieron según la siguiente tabla, y el diseño debe contener los componentes expuestos para cada caso:

<b>3.1.1. Proceso</b>	<b>3.1.1.1. Primera estación</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Suministro de argón</li> <li>2. Suministro de ferroceno</li> <li>3. Horno</li> <li>4. Inyectores de mezcla de argón y ferroceno a los tubos de cuarzo</li> <li>5. Sistema de aspirado de gases no aprovechados</li> <li>6. Sistemas de enfriamiento por medio de agua para intercambiador de calor y para horno</li> <li>7. Intercambiador de calor</li> <li>8. Depósito de gases no aprovechados, para ser tratados con carbón activado</li> </ol>
	<b>3.1.1.2. Segunda estación</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema de limpieza</li> <li>2. Sistema de aspirado</li> <li>3. Colector para NTC</li> </ol>
<b>3.1.2. Máquina</b>	<b>3.1.2.1. Primera estación</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estructura</li> <li>2. Tanque de gas</li> <li>3. Matraces y bomba peristáltica</li> <li>4. Precalentadores (boquillas) con entradas para argón y ferroceno</li> <li>5. Conjunto de tubos de cuarzo</li> <li>6. Horno</li> <li>7. Aspiradora</li> <li>8. Cooler (intercambiador de calor)</li> <li>9. Contenedor para gases no aprovechados</li> </ol>
	<b>3.1.2.2. Segunda estación</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estructura</li> <li>2. Cepillos</li> <li>3. Conjunto de tubos de cuarzo</li> <li>4. Aspiradora</li> <li>5. Ciclón (depósito para almacenar NTC)</li> </ol>

Tabla 2. Requerimientos puntualizados para el diseño.

A continuación se explica cada uno de los elementos de la tabla que corresponden a la máquina:

#### ESTRUCTURA

Debido a la naturaleza de la máquina y a la experiencia que se tiene con las que ya se encuentran funcionando, se sabe que no requiere de una estructura muy compleja, debido a que no maneja grandes cargas; para toda la estructura se utilizó Perfil Bosch de aluminio extruido al igual que en la máquina con hornos circulares, ya que éste ofrece bastante facilidad para hacer diferentes acomodos y ensambles, por su amplia variedad de longitudes y uniones, aparte de que es muy resistente. La estructura debe estar pensada para soportar los siguientes componentes: matraces y bomba, precalentadores, ambos conjuntos de tubos de cuarzo, horno, cooler y cepillos. Aparte debe alojar cualquier dispositivo que se vaya a utilizar para realizar los movimientos (motores, actuadores hidráulicos, levas, ejes, etc.) de aquellos componentes que tengan grados de libertad.

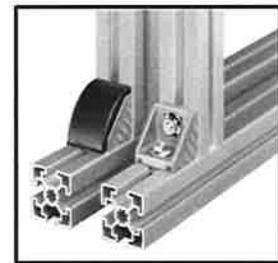


Fig. 13. Perfil Bosch.

#### TANQUE DE GAS

Pueden ser varios cilindros de acero inoxidable para contener argón, que va a ser llevado a los precalentadores a razón de 0.1 lt/min por medio de una manguera de silicón; el argón va a ser el primer compuesto que llegue a los precalentadores para producir la mezcla que va a entrar a los tubos.

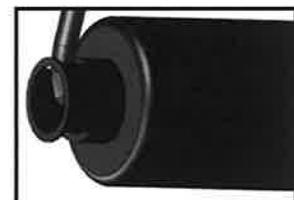


Fig. 14. Representación de tanque de argón.

### MATRAZ Y BOMBA PERISTÁLTICA

Puede ser uno o varios matraces que contienen ferroceno, a la salida de estos se encuentra una bomba peristáltica que succionará el compuesto y lo llevará hasta los precalentadores a razón de 1 ml/min. El ferroceno será el segundo componente de la mezcla que entrará a los tubos de cuarzo para la síntesis de los NTC.

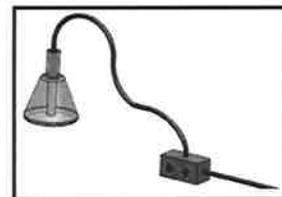


Fig. 15. Representación de matraz y bomba peristáltica.

### PRECALENTADORES

Son unas boquillas con dos conductos de entrada y uno de salida. En ellas entra argón por un conducto (1) y ferroceno por otro (2); adentro se hace una mezcla que va a ser expulsada por otro conducto a los tubos de cuarzo (3). En el interior de estos dispositivos hay una resistencia eléctrica que va a permitir que se lleve a cabo la etapa conocida como precalentamiento, que consiste en elevar la temperatura de los gases aproximadamente a 300°C para que ingresen así a los tubos de cuarzo. A la salida (3) debe haber un tipo de acople que permita sellar contra una superficie plana (ésta se detalla en el siguiente punto) y evite el escape de la solución.

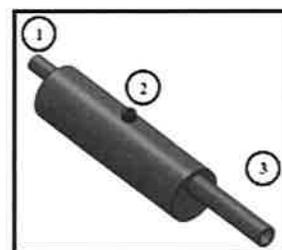


Fig. 16. Representación de precalentador.

Se requiere de un soporte que aloje a las diez boquillas a una distancia de 63.5mm entre ellas.

Todo este conjunto debe tener movimiento en un eje que le permita acoplarse a los tubos de cuarzo y desacoplarse en cada repetición del proceso.

### CONJUNTOS DE TUBOS DE CUARZO

Es un ensamble de 10 tubos dispuestos linealmente, con una separación entre ellos de 63.5mm., ya que ésta es la medida de los reflectores del horno. Se requiere un conjunto de tubos para cada estación de procesado. Como ya se ha venido mencionando, la longitud de los tubos es de 1,200mm y un diámetro interno de 10mm y externo de 14mm.

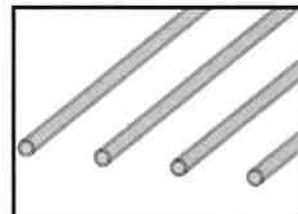


Fig. 17. Representación de tubos de cuarzo.

Para la sujeción de los tubos es necesario un soporte que pueda sostenerlos individualmente, con el objetivo de que en caso que se dañe algún tubo y tenga que ser cambiado, se pueda hacer con facilidad y sin tener que desensamblar todo el soporte. Una de las funciones del soporte es que debe sellar completamente la entrada y salida de los tubos de cuarzo por sus dos extremos, para tener un total aprovechamiento de los gases de proceso.

### HORNO

Éste consta de dos secciones simétricas, es decir que ambas cuentan con los mismos elementos que son: reflectores de aluminio 6061-T6 (1) -con las medidas especificadas en el apartado de **Fundamentos**-, lámparas infrarrojas de 3,000W (2), sistema de enfriamiento a base de agua (3). Cada sección del horno debe tener diez reflectores dispuestos linealmente y sin dejar espacio entre ellos para poder aprovechar mejor la potencia de las lámparas.

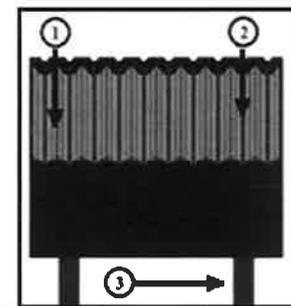


Fig. 18. Representación de horno.

La ubicación de las lámparas debe ser a 5cm de altura respecto a la parte más profunda de la curva del reflector. Estas lámparas además de los reflectores deben estar soportadas por la carcasa del horno, la cual debe tener un sistema de enfriamiento que permita la entrada de agua para regular la temperatura del interior.

### ASPIRADORA

Se trata de una aspiradora tipo industrial de ½ HP que succionará los gases que no se hayan podido aprovechar en la nebulización que se lleva a cabo dentro del tubo de cuarzo; el aspirado se hará por el extremo contrario al que se acoplan los precalentadores.

La terminal de la aspiradora se debe acoplar contra los soportes individuales que detienen a los tubos de cuarzo y debe sellar perfectamente para que no escapen los gases.



Fig. 19. Representación de aspiradora.

La salida de los gases succionados irá a un intercambiador de calor.

### INTERCAMBIADOR DE CALOR

Se trata de un radiador al que llegará la mezcla que no se aprovechó dentro de los tubos de cuarzo. Dentro de él se condensarán los gases. Este dispositivo tiene dos conductos de entrada y dos de salida. Por un conducto de entrada llega la mezcla de gases (1), y saldrá por un conducto hacia un contenedor (2); el otro conducto de entrada y de salida (3) es para el sistema de enfriamiento, el cual está constantemente rotando el agua que pasa por el cooler, para mantenerla siempre fresca y que pueda cumplir su función de llevar a cabo el condensado.

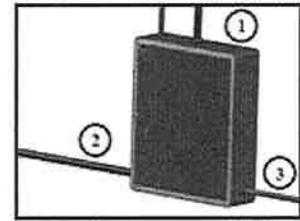


Fig. 20. Representación de intercambiador de calor.

### CONTENEDOR PARA GASES NO APROVECHADOS

Puede ser uno o varios tambores de 200 lt en el que entrarán los gases ya condensados que vienen del intercambiador. Se trata de la última etapa dentro de la primera estación de procesado; aquí la mezcla será tratada con carbón activado. El propósito de este contenedor es bastante importante, ya que es con mero fin ecológico, debido a que el tipo de gases que se requieren para la síntesis de los NTC es muy dañino para el ambiente si no se le da un correcto tratamiento.

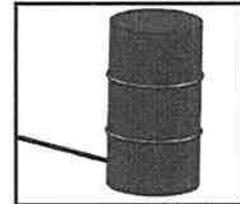


Fig. 21. Representación de contenedor.

### CEPILLOS

Se trata de un conjunto de diez barras circulares de acero, una para cada tubo de cuarzo. Tienen una longitud total de 128cm y un diámetro de 8mm. En uno de sus extremos se le colocan cerdas de latón a lo largo de 8cm que lo harán tener un diámetro exterior de 10mm sólo en esta sección. Se fabrican en diámetros de poca magnitud debido a que entrarán a los tubos de cuarzo que sólo tienen 10mm de diámetro interior. Estos cepillos deben estar a una distancia de 63.5mm entre ellos.

Para sujetarlos se requiere de un soporte que contenga un mecanismo interno que transmita la fuerza proveniente de un motor CD, que estará anclado a este soporte y dará la potencia para hacer girar los cepillos por medio del mecanismo.

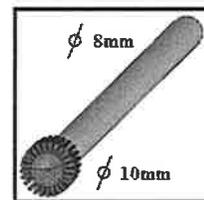


Fig. 22. Representación de cepillo.

Todo este conjunto debe tener movimiento en un eje que le permita entrar por todo lo largo de los tubos, es decir 120cm.

### ASPIRADORA Y CICLÓN

Los NTC requieren de un depósito especial para su almacenamiento; para llevarlos hasta él se utiliza otra aspiradora industrial, que los extrae de los tubos de cuarzo una vez sintetizados, esta fase se realiza en la estación de limpieza simultáneamente a que los cepillos se encuentren rotando dentro de los tubos. La terminal de esta aspiradora se debe acoplar por un extremo de los tubos y los cepillos entrarán por el otro. En esta parte también se requiere de un sellado preciso para que no haya fugas. Esta es la etapa donde termina el procesado en la segunda estación del sistema.



Fig. 23. Representación de aspiradora para el segundo proceso y ciclón.

### 3.2. Crear un diseño

Hasta este punto se han identificado todas las necesidades que debe satisfacer el diseño para el correcto funcionamiento del sistema. Lo que prosigue es comenzar a crear ideas de diseño para aquellas necesidades que lo requieran.

La siguiente tabla muestra solamente aquellas necesidades que requieran de una idea de diseño para su cumplimiento:

COMPONENTE	NECESIDAD	IDEA	JUSTIFICACIÓN	FIGURA
Proceso en general	Que sea continuo.	<i>Esta idea es expuesta al final, una vez que se hayan cubierto todas las necesidades y se sepa con certeza todas las piezas que contiene el sistema y que habrá que considerar para el proceso.</i>		
Estructura	Que soporte todos los elementos que harán los movimientos.	Se utilizó Perfil Bosch. <i>Las imágenes para esta necesidad se encuentran en la última parte de la sección de Ensamblés.</i>	Este tipo de perfil permite hacer diversos acomodos por su variedad de piezas. Una geometría sencilla de maquinar es el rectángulo; aluminio, resiste el calor y es ligero.	24
Precalentador	Soporte que permita alojar diez boquillas.	Se ideó una placa rectangular de aluminio con medidas de 635mm de largo, 63.5mm de alto y un espesor de 19.05mm.	5pulg es suficiente para que los tubos tengan la libertad para realizar su movimiento una vez que se ha retraído el actuador.	25
	Tener movimiento que le permita acoplarse a los tubos.	Se ideó un actuador hidráulico con carrera de 5pulg, acoplado al soporte para que puedan acoplarse y desacoplarse cada que se requiera.	Se usa un resorte para que sea éste el que reciba la fuerza del actuador y proteger las boquillas.	26
	Que la salida esté sellada contra una superficie plana.	Se utilizó la misma conexión de la máquina de hornos circulares, que cuenta con un empaque en un extremo y un resorte en el otro extremo, para permitir un mejor acople.		27
Tubos	Soporte para sujetar diez de ellos.	Se ideó un bastidor que alojará diez bases; cada una sujetará un tubo. Las medidas de las bases permiten al tubo entrar 1pulg. El bastidor y las bases son de aluminio.	Bases individuales para facilitar el cambio de un tubo cuando se requiera.	28
	Sellado preciso por sus dos lados.	Se usó empaques tipo O-ring fabricados con vitón. Aparte la geometría de las bases ayuda al sellado también.	El vitón permite un sellado correcto y soporta temperaturas elevadas.	29
	Sujetar tubos a soporte.	Se hará con un segundo O-ring de vitón, de 14mm de diámetro interior que sujete al tubo por su perímetro presionando hacia adentro, y así fijarlo al soporte. Para presionar el tubo se usó una placa que se ensambla a la base individual y ejerce fuerza sobre el empaque.	No se pueden utilizar grandes fuerzas debido a la fragilidad del tubo de cuarzo; es por ello que la sujeción es por medio de la fuerza lateral de un empaque.	30
	Que todo el conjunto tenga movimiento.	Se ideó un conjunto de elementos a los que se les puede aplicar fuerzas y así moverlo.	Las fuerzas para hacer el movimiento no deben ser directamente a los tubos.	31
Horno	Requiere una carcasa.	Se ideó un conjunto de placas de aluminio y ángulos dispuestos a manera de formar un cubo; en una de las caras estarán los reflectores, habrá unas placas para sujetar las lámparas.	Se hizo con aluminio debido a que es más ligero y por las temperaturas a resistir.	32
	Debe tener un sistema de enfriamiento.	Estará constituido por mangueras que permitirán la entrada de agua a la carcasa, y tubería de cobre para el interior de los reflectores.	En esta parte se utiliza el mismo sistema que en el horno circular. Con la misma disposición.	33
	Que se abra en sus dos secciones	Se ideó un actuador hidráulico para cada mitad del horno.	Es un movimiento sencillo que con dos actuadores se puede lograr.	34

Aspiradora	Se debe acoplar contra una superficie plana y que haga un buen sellado.	Se ideó un acople que tenga un empaque que cubra toda el área de los diez tubos de cuarzo. Este empaque presionará contra las bases individuales de los tubos.	Es más sencillo fabricar una terminal de este tipo que hacer diez terminales individuales.	35
Cepillos	Soporte con un mecanismo interno que transmita la fuerza proveniente de un motor a los cepillos.	Se hizo una base con once conductos de entrada, uno para el motor y las otras diez en la cara opuesta, para los diez cepillos. Internamente un sistema de transmisión de engranes hará el movimiento.	Una base similar es usada en la máquina con hornos circulares. El movimiento se piensa hacer con una transmisión de engranes.	36
	Que tenga movimiento por todo lo largo de los tubos de cuarzo.	Se ideó un actuador hidráulico con carrera de 120cm que se acopla al soporte de los cepillos.	Un actuador hidráulico es suficiente para realizar el movimiento requerido.	37

Tabla 3. Necesidades de diseño.

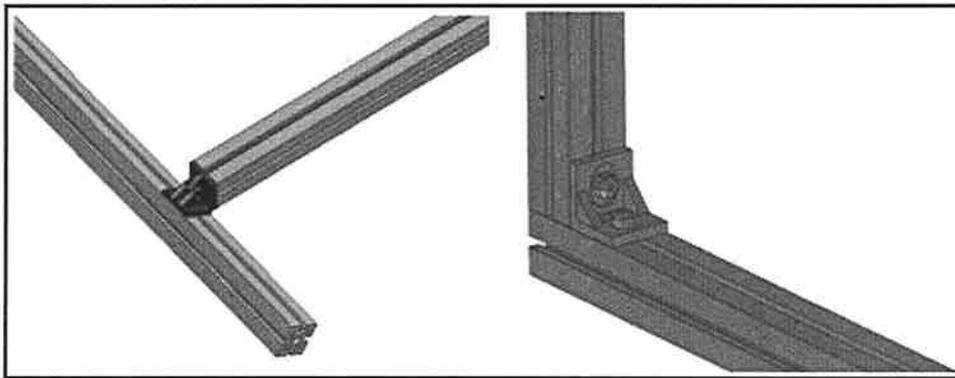


Fig. 24. Representación de Perfil Bosch.

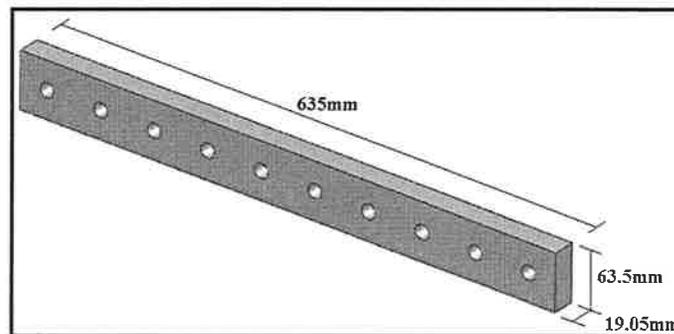


Fig. 25. Representación de soporte para precalentadores.

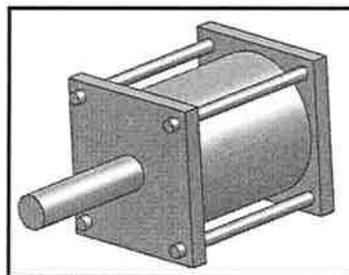


Fig. 26. Representación de actuador hidráulico de 5pulg de carrera.

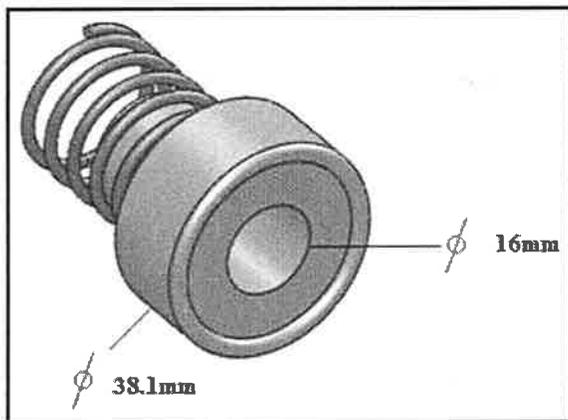


Fig. 27. Representación de conexión de precalentadores.

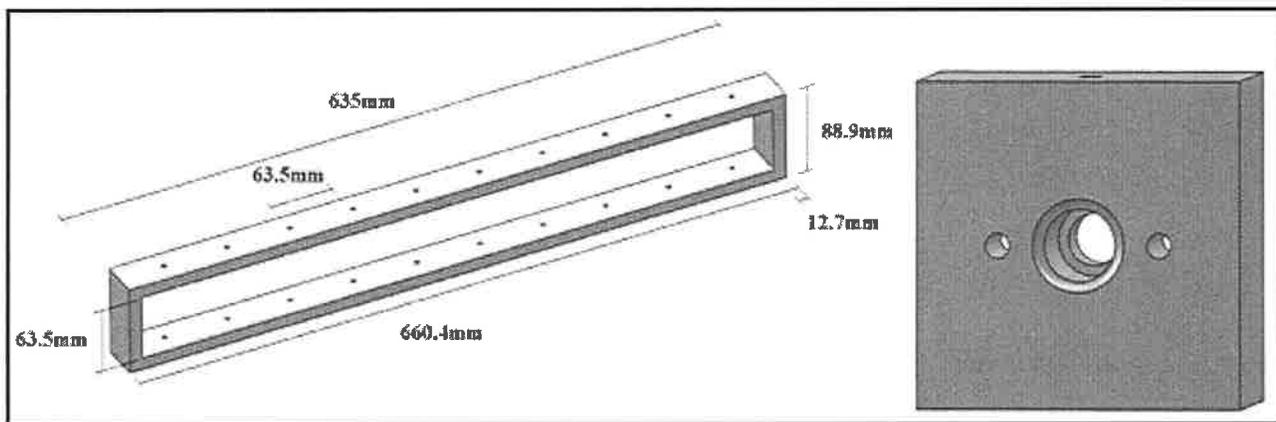


Fig. 28. Representación de bastidor y base individual para tubos de cuarzo.

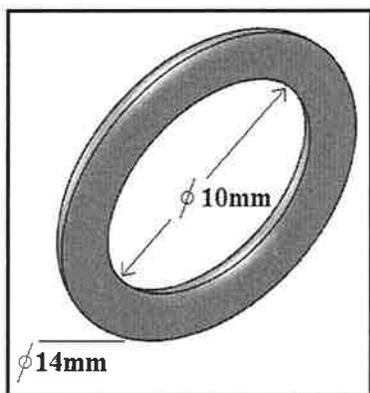


Fig. 29. Representación de O-ring para sellado de tubos.

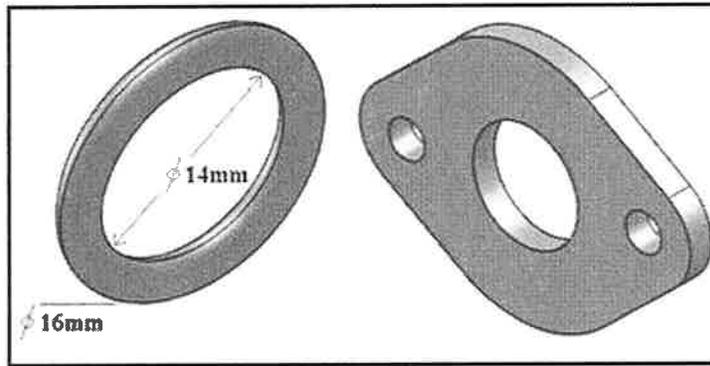


Fig. 30. Representación de O-ring para sujeción de tubos.

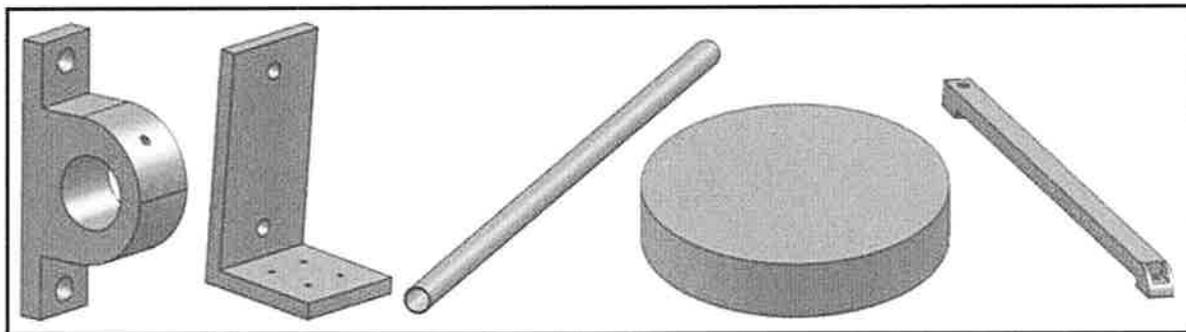


Fig. 31. Representación de elementos para hacer el movimiento de los tubos.

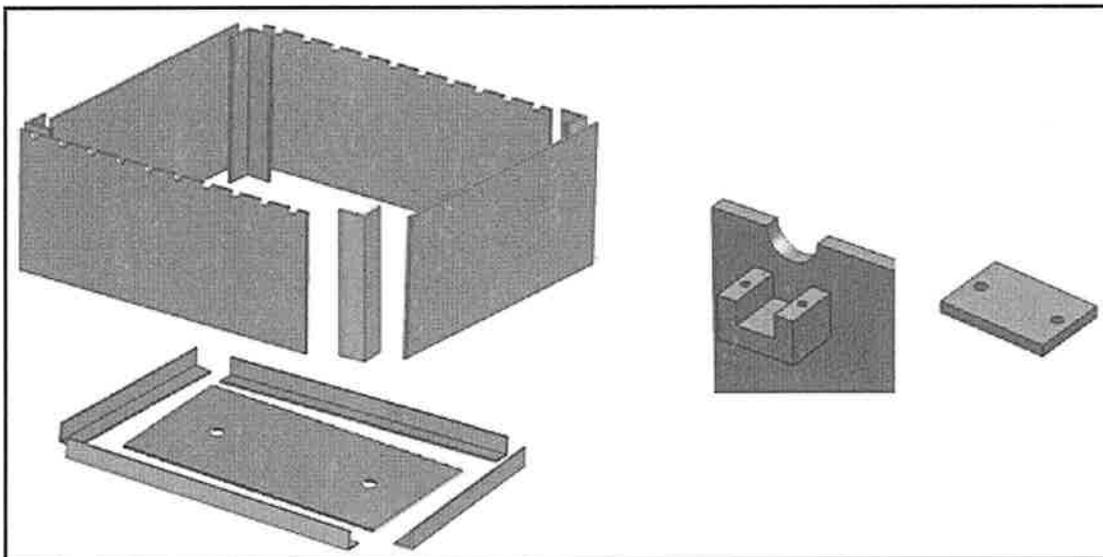


Fig. 32. Representación de la carcasa del horno.

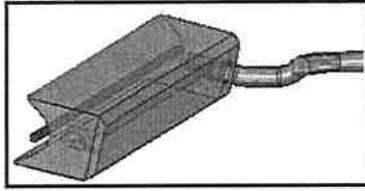


Fig. 33. Representación de sistema de enfriamiento de horno.

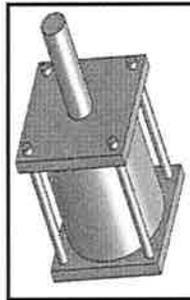


Fig. 34. Representación de actuadores para apertura de horno.

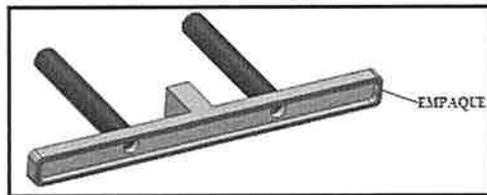


Fig. 35. Representación de terminal de aspiradora.

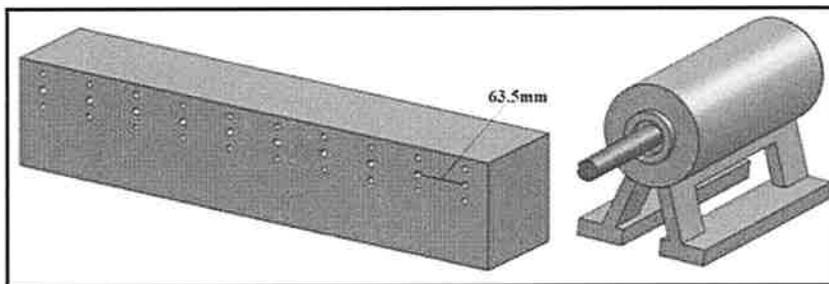


Fig. 36. Representación de soporte para cepillos con transmisión interna de movimiento y motor CD.

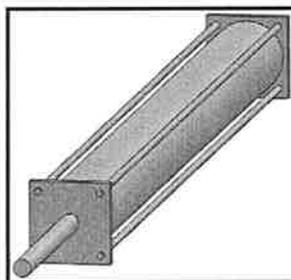


Fig. 37. Representación de actuador hidráulico de 120cm de carrera.

Una vez conocidos todos los requerimientos, se creó un diseño a modo de esquema para visualizar el conjunto de elementos que estarán trabajando en este sistema, por estaciones de trabajo, haciendo mención de que en este dibujo aún no están considerados los actuadores hidráulicos, motores ni estructura, ya que el ensamble de los actuadores y motores depende de que la estructura esté terminada para saber cómo se acoplarán para poder realizar su función. El propósito de este diagrama es considerar los elementos más importantes que abarca el sistema, el lugar tentativo que ocuparán y su división por estaciones de procesado, para así teniendo este diseño poder proponer un modelo.

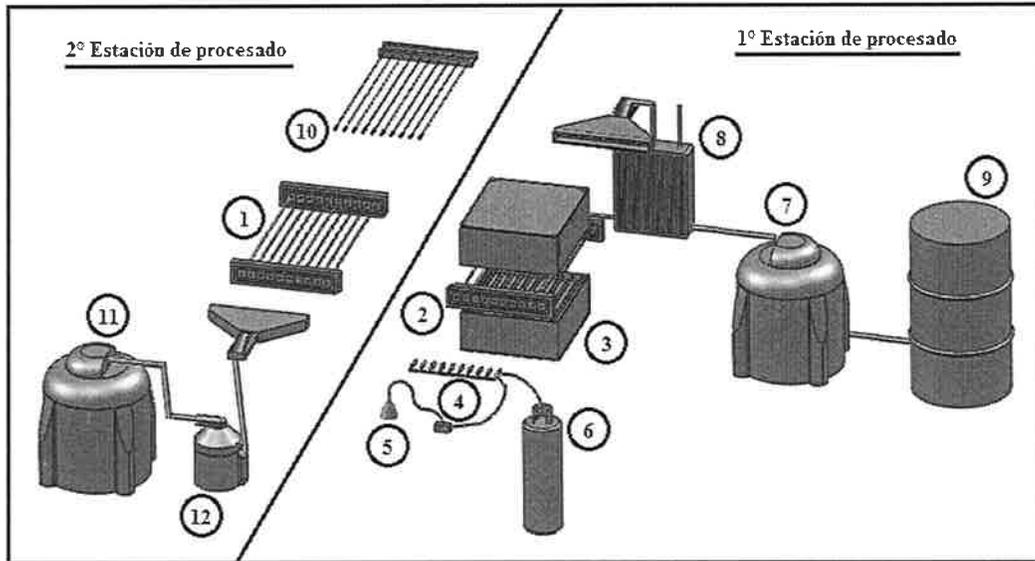


Fig. 38. Esquema de máquina para síntesis de NTC.

Los elementos considerados en este diagrama son:

1	Conjunto 2 de tubos de cuarzo	7	Aspiradora de gases
2	Conjunto 1 de tubos de cuarzo	8	Intercambiador de calor
3	Horno	9	Depósito de gases
4	Precalentadores	10	Conjunto de cepillos
5	Matraz con ferroceno	11	Aspiradora de NTC
6	Tanque con argón	12	Depósito para NTC

Para simplificar aún más el diagrama anterior y poder proponer los modelos de una manera más sencilla, se optó por enfocarse únicamente en los elementos que diferenciarán un modelo de otro. Estos elementos son aquellos que estarán móviles dentro del proceso, los cuales son:

1. Conjuntos de tubos de cuarzo
2. Horno
3. Precalentadores
4. Conjunto de cepillos
5. Aspiradoras

Dentro de estos elementos mencionados, se consideraron tres parámetros que ayudarán a diferenciar los modelos:

- P-1. El movimiento de rotación de los conjuntos de tubos de cuarzo de una estación a otra.
- P-2. La apertura del horno.
- P-3. Los ensambles y desensambles de los acoplamientos.

Considerando estos tres parámetros, se hicieron tres propuestas de diseño.

### 3.3. Proponer modelo

En base al método de diseño que se está empleando, una vez que se tiene concebida una idea, se vuelve necesario encontrar un medio para evaluar su calidad para la satisfacción del requerimiento. La manera de hacer esto sería construir la idea concebida, pero usualmente es impráctico por razones de tiempo, costo y esfuerzo. Para ahorrar en esto, se hace uso de un modelo simplificado para evaluar la idea de diseño.

Se propusieron tres modelos -que se evaluarán después conforme a otros parámetros-.

Al **Primer Diseño** se le dio el nombre de “Rotación en Z”, y en general consta de una pieza central que une a los dos conjuntos de tubos de cuarzo. La idea para satisfacer los parámetros es:

En cuanto a **P-1**, girar la estructura central en el Eje Z, y así conseguir la rotación de los tubos de una estación a la otra.

En cuanto a **P-2**, dividir el horno a manera de colocar un eje en uno de sus extremos y rotar cada una de las mitades alejándolas del otro extremo, para así permitir el giro de la estructura central.

Para **P-3**, el acoplamiento sería de manera lineal.

Descrito en 5 pasos, se tiene el primer modelo:

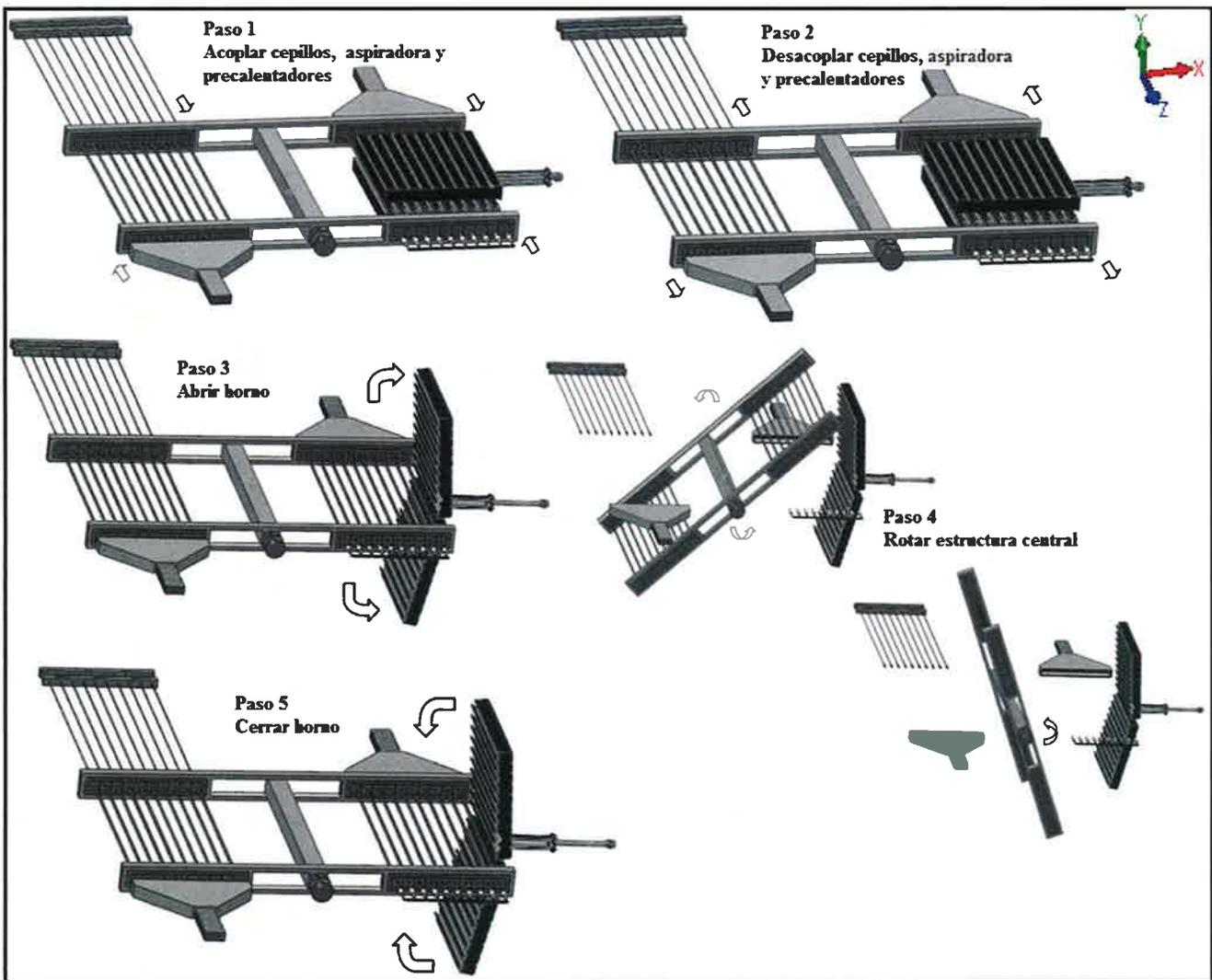


Fig. 39. Esquema del Primer Diseño.

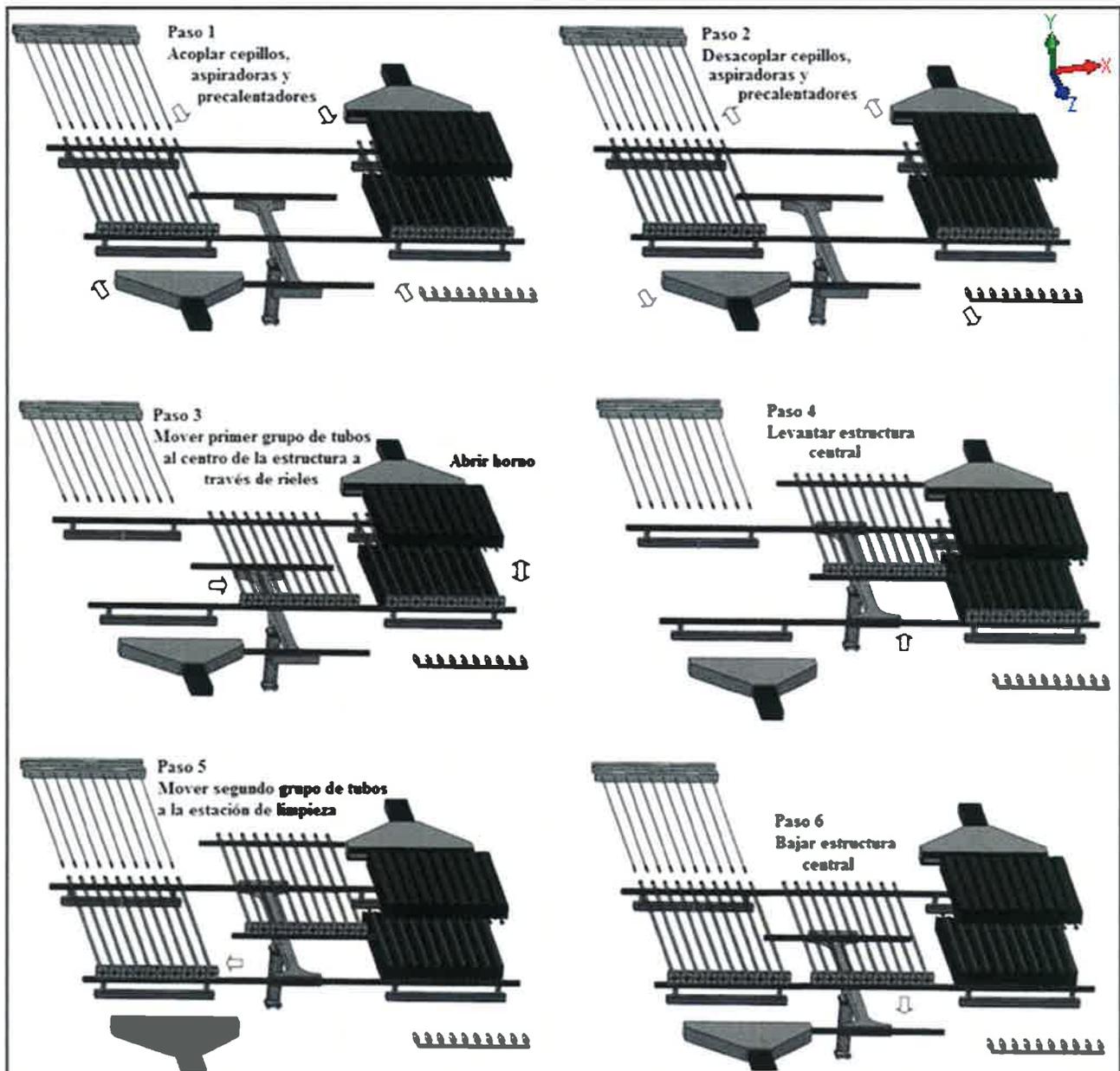
Al **Segundo Diseño** se le dio el nombre de “Rieles en Y”, y en este se tienen los conjuntos de tubos por separado. La idea para satisfacer los parámetros es:

En cuanto a **P-1**, hacer uso de unos rieles guía que estarán divididos en tres secciones. Una sección para cada estación del proceso y una tercera sección en el centro con grado de libertad dentro del Eje Y. La razón de dichos rieles móviles es que cuando haya terminado el proceso en una de las estaciones, pasar el conjunto de tubos de cuarzo a esta sección móvil de rieles, después elevarla hasta que quede alineado el riel inferior con los rieles fijos, posteriormente llevar el segundo conjunto de tubos de cuarzo a la otra estación de proceso pasando por el riel inferior de los rieles móviles; posteriormente descender los rieles móviles, y llevar el primer conjunto de tubos a su nueva estación.

En cuanto a **P-2**, abrir de manera lineal el horno con una corta distancia.

Para **P-3**, el acoplamiento sería de manera lineal.

Descrito el proceso en 8 pasos para este segundo modelo, se tiene:



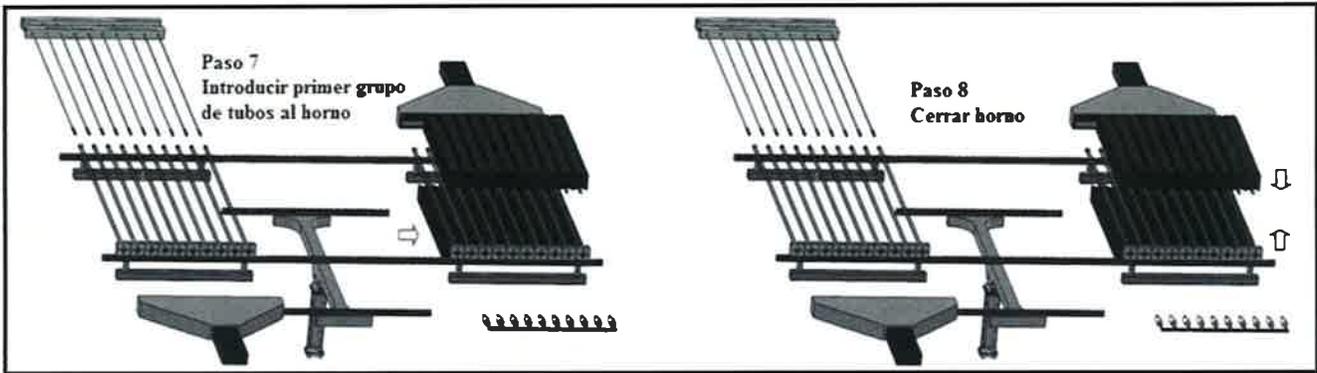


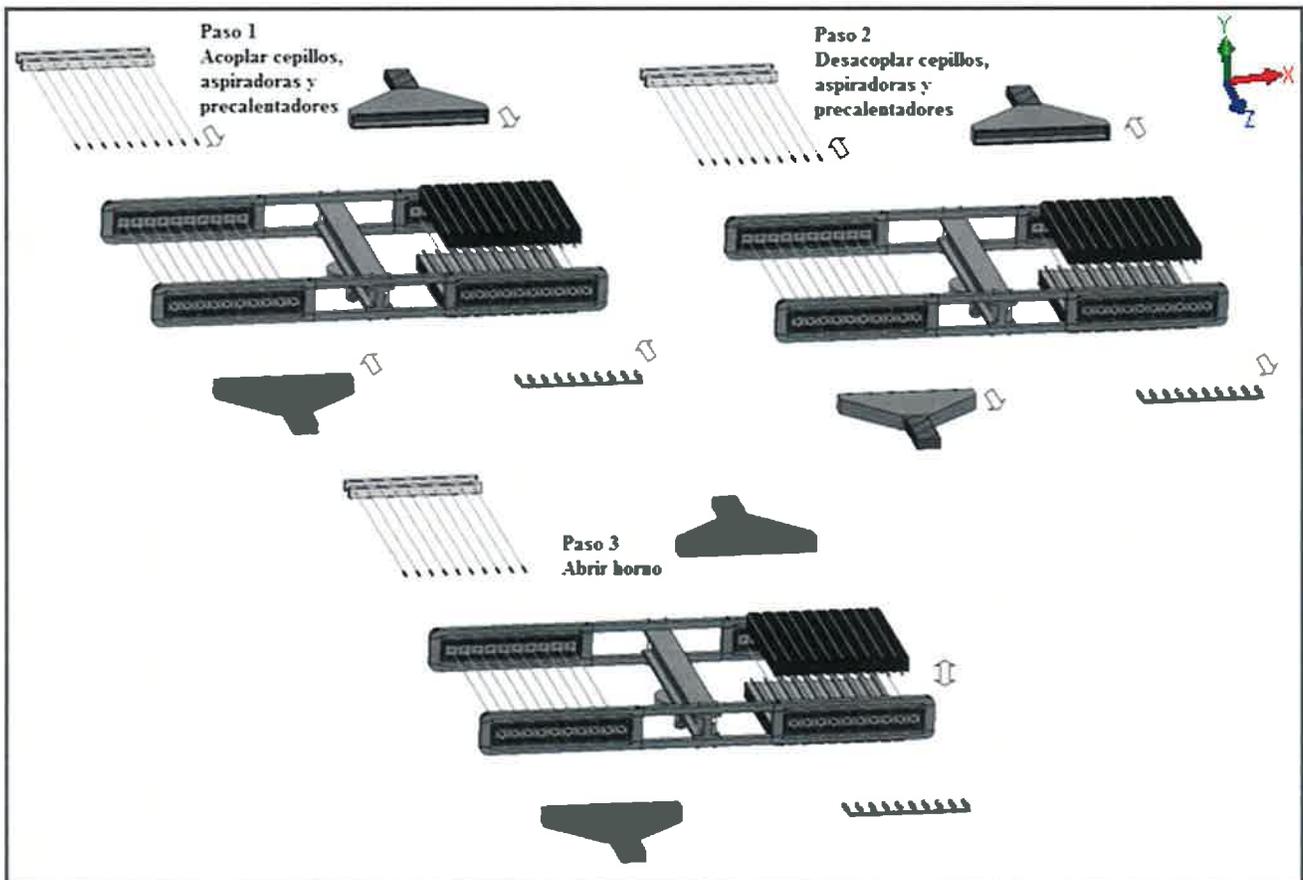
Fig. 40. Esquema del Segundo Diseño.

Al Tercer Diseño se le dio el nombre de “Rotación en Y”, y consta de una pieza central que une a los dos conjuntos de tubos de cuarzo al igual que el primer diseño. La idea para satisfacer los parámetros es:

En cuanto a P-1, girar la estructura central en el Eje Y, y así conseguir la rotación de los tubos de una estación a la otra.

En cuanto a P-2, abrir de manera lineal el horno con una distancia mayor que la del segundo diseño.

Para P-3, el acoplamiento sería de manera lineal.



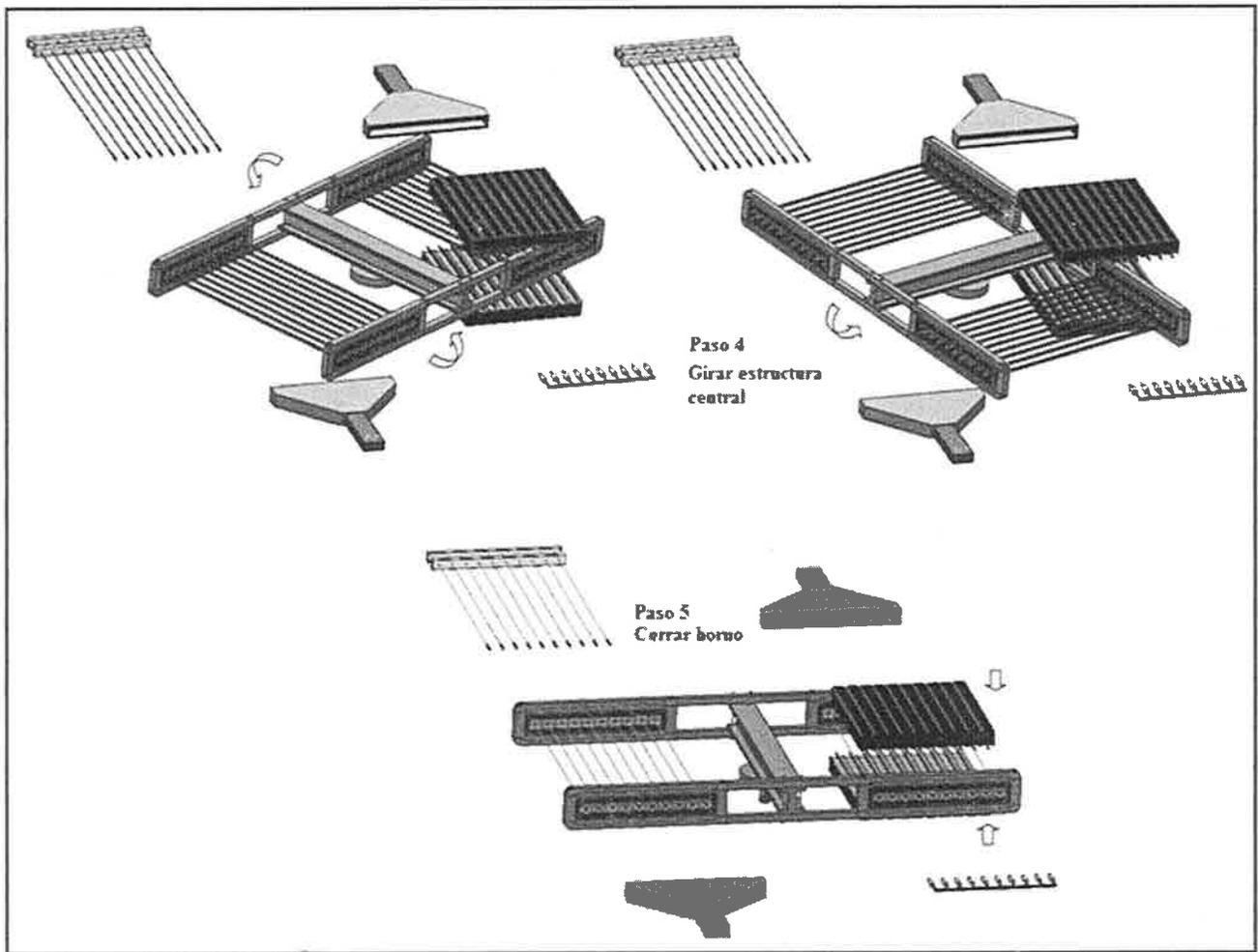


Fig. 41. Esquema de Tercer Diseño.

A continuación se evaluarán las tres propuestas para ver cuál sería la más apropiada para el alcance del proyecto, teniendo en cuenta que al descartar dos de ellas, no significa que sean incorrectas, ya que las tres de ellas satisfacen todas las necesidades estipuladas al principio de este apartado, sino que es más apropiada una de ellas para aparte de cumplir con los requerimientos, satisfacer de mejor modo los parámetros que se consideraron para esta elección.

Para el establecimiento de los parámetros se aprovechó la ventaja que se tiene en este proyecto, que es el hecho de que ya se encuentran dos máquinas en operación y por la experiencia que se ha tenido con ellas, fue más sencillo determinar estos puntos para llevar a cabo la elección de la mejor propuesta.

### 3.3.1. Comparativa de propuestas

Para elegir la mejor propuesta, se establecieron parámetros para ponderar las 3 opciones, y hubo 2 criterios para dejar la opción más apropiada: el primer criterio fue la suma total de los parámetros, y el segundo criterio fue ver cuál propuesta cumplía con el mayor número de parámetros que se encuentran remarcados, ya que fueron los que se consideraron de mayor importancia conforme a la experiencia que se ha tenido con las máquinas anteriores que ya se encuentran instaladas y funcionando.

Debido a la naturaleza de los parámetros, cada uno tiene su propia escala de evaluación:

Parámetros	Alto	Medio	Bajo	Primer concepto -Rotación en Z-	Segundo concepto -Rieles en Y-	Tercer concepto -Rotación en Y-
<b>Enfriamiento de tubos</b>	3		1	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Número de componentes	1		3	3	1	2
Área ocupada por la máquina	1		3	3	2	1
<b>Precisión de movimientos</b>	3		1	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Protección de lámparas</b>	3		1	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
Control requerido	1	2	3	2	1	2
<b>Componentes comerciales</b>	3		1	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
<b>Componentes especiales</b>	1		3	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
Peso total	1		3	3	1	2
Costo	1		3	3	1	2
Mantenimiento	1		3	2	3	2
				<b>Σ 24</b>	<b>22</b>	<b>18</b>

Tabla 4. Comparativa de propuestas.

La selección de los parámetros más importantes se justifica a continuación:

El **enfriamiento de los tubos** es de importancia ya que se requiere que después de que el horno estuvo prendido un tiempo, los tubos descendan en su temperatura de manera rápida para dar seguimiento al proceso y que sea continuo. Ya que si estos tardan demasiado en enfriar, sería más tardado llevarlos a la siguiente estación de proceso.

La **precisión de los movimientos** es importante para que haya un buen sellado de las partes que se acoplarán a los soportes de los tubos de cuarzo, como son los precalentadores y las aspiradoras; haciendo así más eficiente el sistema por tener mejor aprovechamiento de la energía.

La **protección de las lámparas**, debido a que cada una de ellas cuesta alrededor de \$2,500 pesos M.N., por lo que se deben evitar posibles riesgos a los que puedan estar expuestas, si el movimiento del horno las coloca en una posición en que queden más desprotegidas.

**Componentes comerciales**, ya que en cualquier sistema mecánico por mejor mantenimiento que se tenga, siempre hay que pensar en las refacciones que utilizará la máquina en cierto momento. Por ejemplo en el segundo modelo se consideraron los rieles y los bloques de la marca T.H.K. que en la parte de anexos, se incluyen las fichas técnicas de los elementos considerados.

**Componentes especiales**, que va relacionado con el parámetro anterior. Se da gran peso a este parámetro ya que en general siempre son más baratas las piezas comerciales que aquellas de fabricación especial, y tienen tiempo de entrega generalmente más corto lo que en algún momento llega a pesar más incluso que el costo.

Volviendo a la tabla, aún cuando la suma total de los parámetros favorece un poco a la primera propuesta, **es la segunda la que se eligió** debido a que tiene mejor resultado en 4 de los 5 parámetros de más importancia.

### 3.4. Poner a prueba

Para crear todas las piezas en 3D así como para simular el funcionamiento del diseño aceptado, se utilizó el Software SolidWorks®, y a continuación se comentan los pasos incluidos en el proceso de simulación:

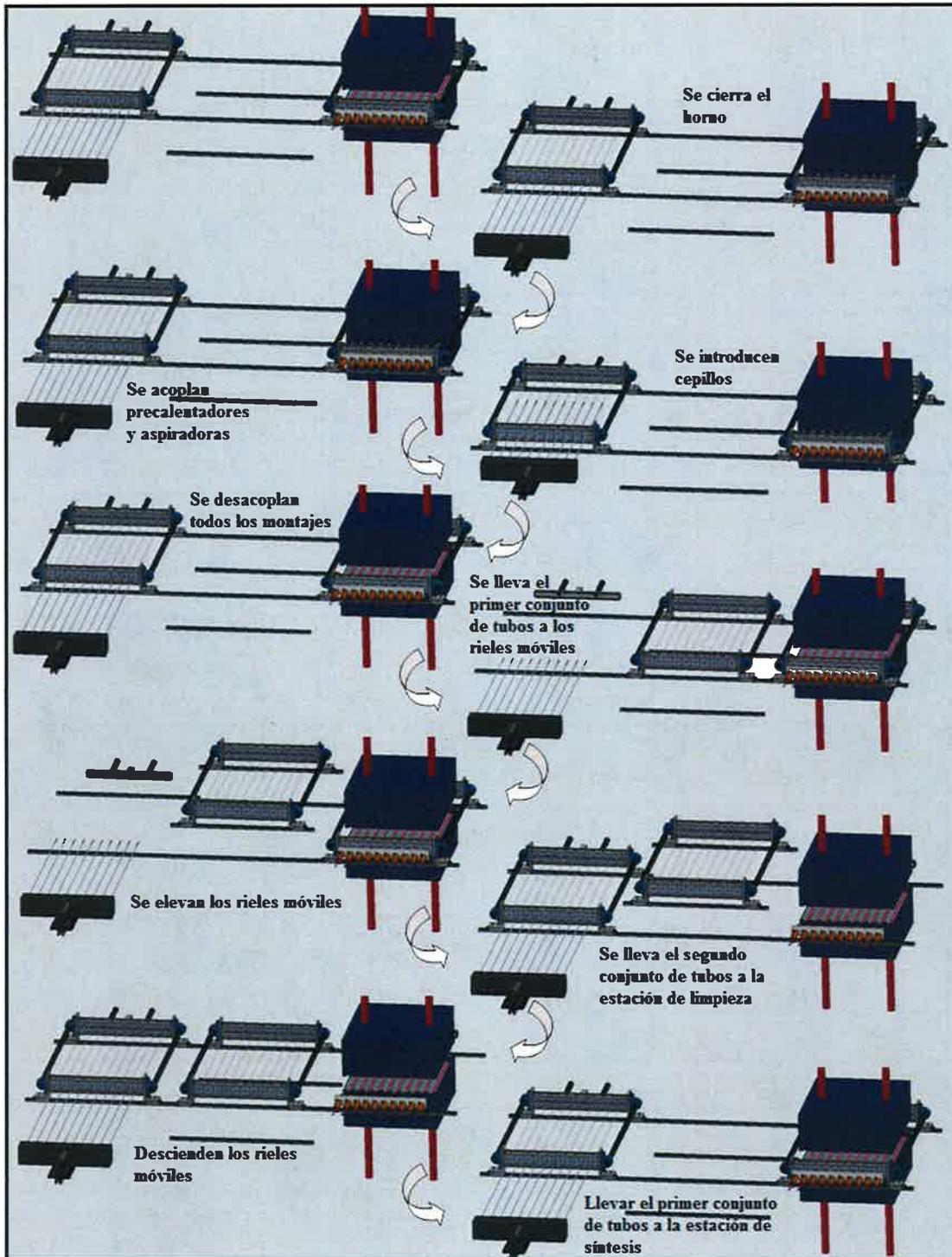


Fig. 42. Pasos de la simulación del diseño.

### 3.5. Mejorar el diseño

Una vez puesto a prueba el modelo, se hace la pregunta de en qué podría mejorar el diseño para cumplir mejor con las necesidades.

Después de hacer la simulación, es visible que el modelo propuesto cumple con las especificaciones de diseño establecidas por la previa investigación, además de que satisface todas las necesidades; por lo que no fue necesario contemplar mejoras relevantes dentro del diseño. Además debido al alcance del proyecto el objetivo del modelo es que cumpla tanto en especificaciones de diseño como en necesidades de proceso, y ya que el sistema califica en ambas, se procedió a la parte de ensambles.

#### 3.5.1. Ensamble

Para el ensamble de las piezas más importantes que conforman el modelo aceptado, se dividió en los siguientes conceptos:

1. Horno
2. Conjuntos de tubos de cuarzo
3. Precalentadores
4. Conjunto de cepillos
5. Estructura

En la parte del HORNO se tienen los siguientes ensambles:

Se tiene la ranura en las placas frontal y posterior con diámetro de 20mm para que se acoplen en ese espacio los tubos de cuarzo que tienen 14mm de diámetro exterior, dejando así una pequeña tolerancia para que no haya contacto.

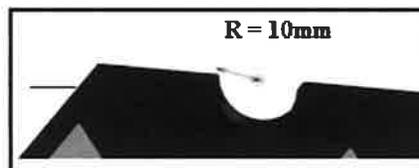


Fig. 43. Ranura de las placas frontales del horno.

Las placas que soportarán cada una de las lámparas estarán dispuestas de modo que el cubo que forman quede prensando al socket de la lámpara. La placa superior se acopla con dos tornillos con cabeza tipo estufa para desarmador, para facilitar el ensamble.

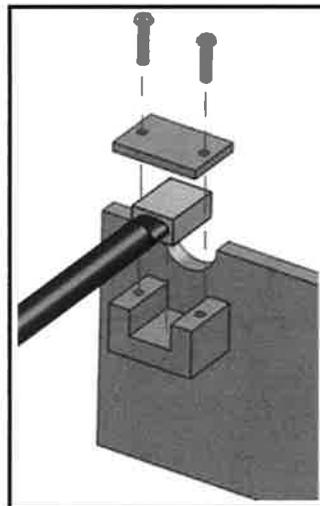


Fig. 44. Ensamble de lámpara en horno.

Teniendo las diez lámparas ensambladas dentro de sus placas soporte, y toda la carcasa cubriendo a los reflectores, se tiene una de las dos secciones que componen el horno como se muestra:

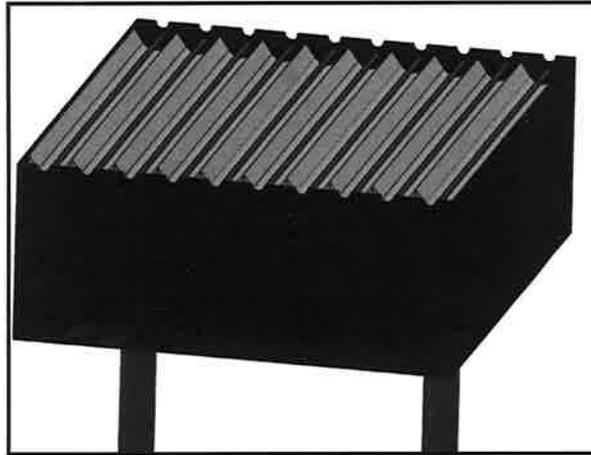


Fig. 45. Ensamble de una sección del horno.

En los TUBOS DE CUARZO se tienen los siguientes ensambles:

Las dimensiones internas del bastidor permiten el acomodo de las diez bases individuales para los tubos de cuarzo, y éstas se sujetarán al bastidor por medio de dos tornillos ubicados en caras opuestas.

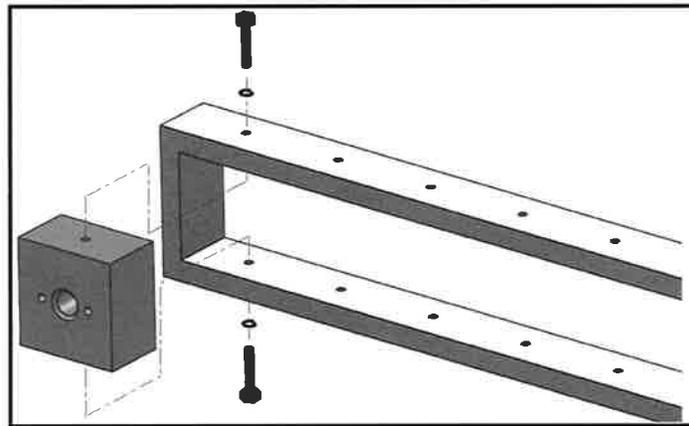


Fig. 46. Ensamble de placas individuales a bastidor.

Para poder ensamblar los tubos, se diseñó una placa que prensará al O-ring contra la base individual.

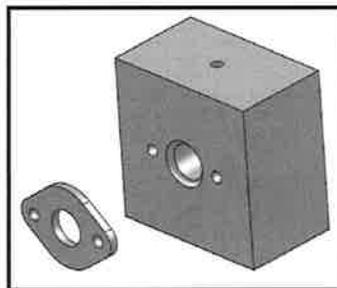


Fig. 47. Placa retén para O-ring de sujeción de tubo.

Para el sujetado de los tubos, primero se coloca el O-ring de 10mm dentro de la base, éste entrará 1pulg, después llegará el tubo a presionarlo contra el fondo del orificio central de la base.

Rodeando al tubo se encuentra el O-ring de 14mm y la placa retén. La mecánica de estos componentes es que una vez que el tubo esté a tope en el interior de la base, el O-ring que lo rodea llegue y se acople dentro del chaflán del orificio central de la base. Posteriormente la placa retén se encarga de presionar el O-ring contra la base y contra el tubo, fijando así el tubo a las bases por acción de la fuerza lateral que ejerce el empaque sobre ellos.

Para ensamblar la placa retén a las bases se consideraron tornillos de tipo cabeza cilíndrica, ya que es más sencillo trabajar sobre ellos con una llave hexagonal que con un destornillador o con un dado, puesto que los tubos se encuentran inmediatos a ellos.

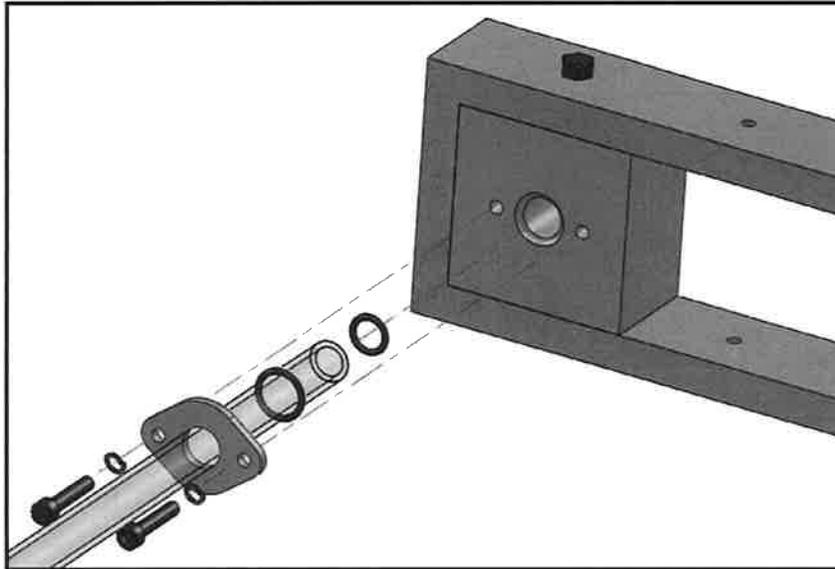


Fig. 48. Ensamble de O-rings y placa para sujeción de tubos de cuarzo.

Una vez que se encuentran fijadas las diez bases al bastidor y cada tubo sujetado a la base, se procede a acoplar los elementos que servirán para aplicarles las fuerzas que harán los movimientos, se piensa aplicar estas fuerzas por medio de actuadores hidráulicos.

Dentro de estos elementos se encuentran:

- Dos escuadras de manufactura especial con dos barrenos en su cara mayor y cuatro barrenos en la cara de menor tamaño. Los barrenos de la cara mayor estarán a una distancia de  $4\frac{1}{2}$  pulg entre ellos. Los de la cara menor dependen de otra pieza comercial -que más adelante se detalla-.
- Dos chumaceras bipartida
- Dos espárragos
- Dos tubos

Estas piezas serán únicamente para un bastidor, por lo que se requerirá del doble de ellas para todo el conjunto de tubos de cuarzo.

Las escuadras especiales embonan exactamente a los costados del bastidor y para mantenerlas en esa posición se utilizan los dos espárragos, que entrará cada uno de ellos en los barrenos de las escuadras.

Posterior se colocarán las dos chumaceras comerciales de tipo bipartida que posean un espacio entre sus barrenos de  $4\frac{1}{2}$  pulg, alineadas de modo que sus barrenos coincidan con los espárragos. El fijado de todos estos elementos lo hará una tuerca en cada extremo del espárrago.

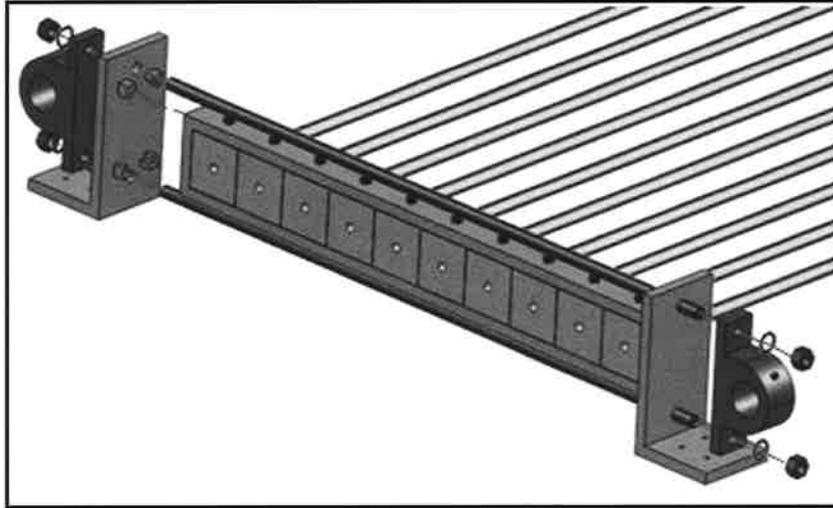


Fig. 49. Ensamble de placas laterales a bastidor y chumacera tipo bipartida.

El movimiento de los tubos de cuarzo se realizará por el deslizamiento de unos bloques a través de rieles. Estos bloques son de marca comercial T.H.K., y se ensamblan a las escuadras por medio de cuatro tornillos de tipo cabeza cilíndrica, ya que se consideró que fueron los más apropiados para maniobrar en el espacio reducido que habrá debajo de las chumaceras.

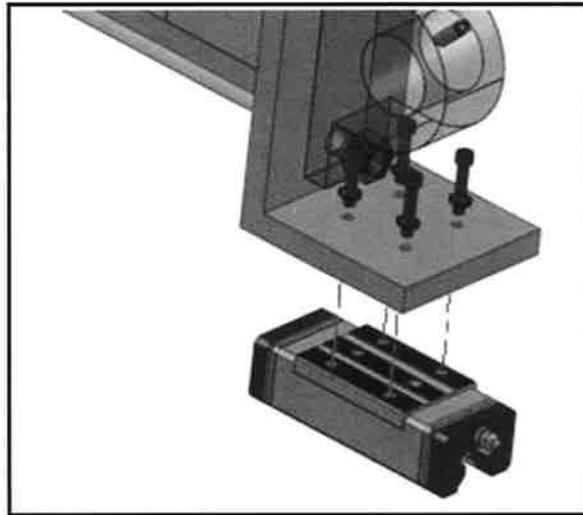


Fig. 50. Ensamble de bloque de riel a placas laterales.

La fuerza de los actuadores hidráulicos para mover todo este conjunto se aplicará a unos tubos, que fueron la causa de usar las chumaceras, ya que estos entrarán en ellas como se muestra en la siguiente figura. Al usar estos tubos es posible aplicar la fuerza del vástago del actuador sobre ellos y así proteger los tubos de cuarzo de cualquier esfuerzo. Otro de los propósitos de utilizar estos tubos es que los dos bastidores se encuentren unidos a ellos, y dar fortaleza a este conjunto.

Ya que el tubo se encuentra dentro de la chumacera en el lugar donde debe estar, se coloca el prisionero de la chumacera para presionar el tubo y así mantenerlo fijo a esa posición.

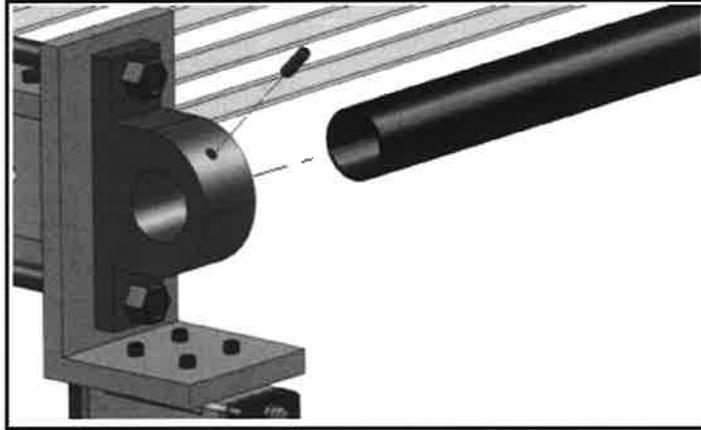


Fig. 51. Ensamble de tubo dentro de chumaceras.

Resumiendo todos estos ensambles que forman los conjuntos de tubos de cuarzo, las piezas que los componen son: los bastidores, las diez bases individuales que irán dentro de ellos fijadas con dos tornillos, uno en la cara superior y otro en la cara inferior, los O-ring de 10mm que entrarán en el barreno central de las bases; estando hasta este punto los bastidores completos. A estos se ensamblan los tubos de cuarzo, los O-ring de 14mm, las placas retenedoras con sus tornillos; se hace esto para cada extremo de los tubos de cuarzo teniendo así dos bastidores. A ellos se acoplan las escuadras, los espárragos que las unen con tuercas, las chumaceras tipo bipartida, los tubos estructurales y los bloques para riel con sus tornillos.

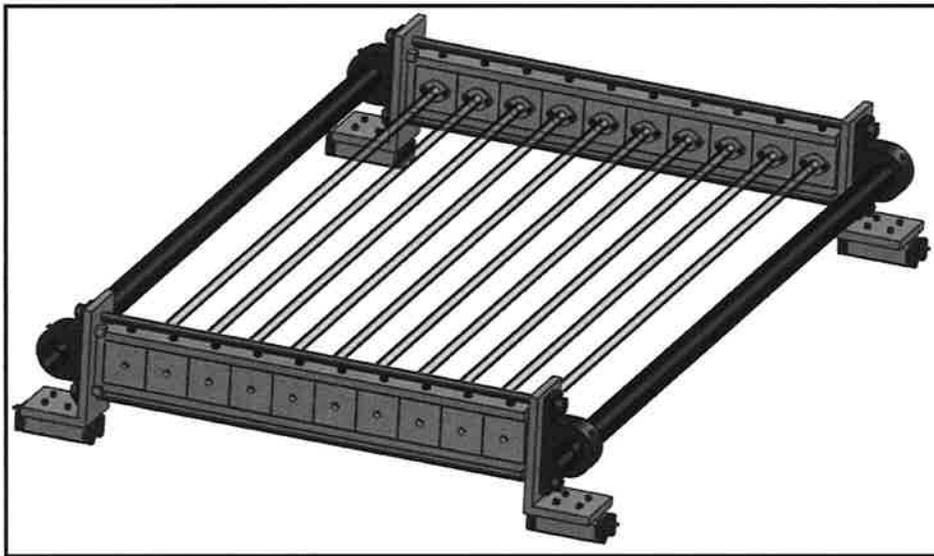


Fig. 52. Ensamble terminado de conjunto de tubos de cuarzo.

En las siguientes imágenes se muestran el ensamble únicamente sobrepuesto de la parte que corresponde al horno en sus dos secciones, con un conjunto completo de tubos de cuarzo, a manera de apreciar solamente esta parte de la máquina que es donde hubo más cambios respecto a la máquina de hornos circulares. Una de las imágenes tiene el horno representado en lo que será su mayor apertura que es 12pulg de distancia entre los bordes de las secciones, que cuando el horno se encuentre de esta manera será cuando se lleve a cambio el movimiento de los tubos a la otra estación de proceso.

En la otra imagen se muestra el horno cuando está totalmente cerrado, con un conjunto de tubos de cuarzo en su interior llevando a cabo el proceso de síntesis dentro de él.

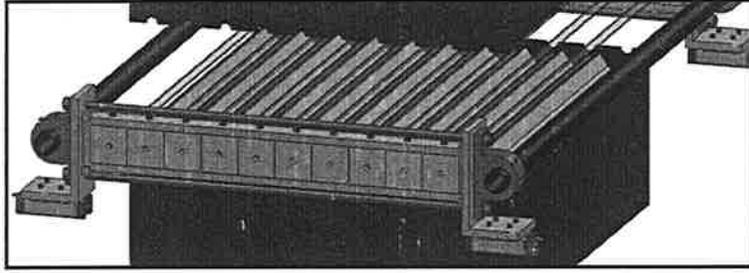


Fig. 53. Tubos de cuarzo dentro de horno abierto.

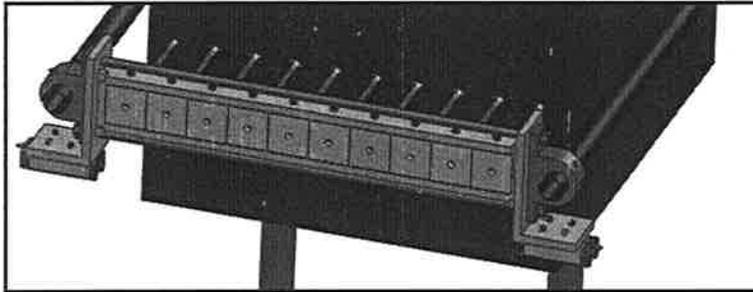


Fig. 54. Tubos de cuarzo dentro de horno cerrado.

En los PRECALENTADORES se tienen los siguientes ensambles:

En la parte posterior del precalentador, por el conducto de entrada se conecta la manguera que transporta el argón y se sujeta con una abrazadera de tipo sinfin alrededor de ella.

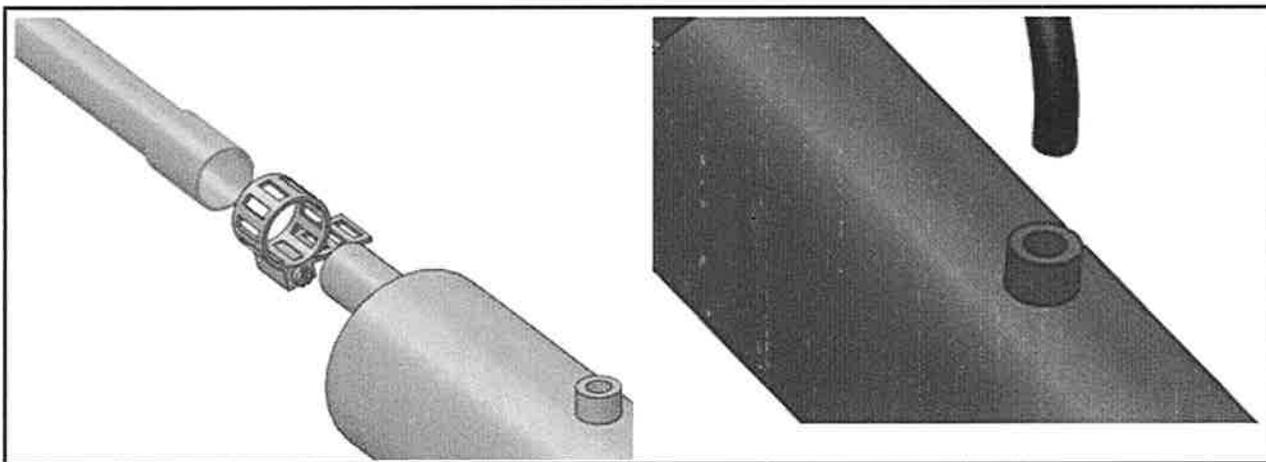


Fig. 55. Ensamble de mangueras a precalentador.

En el conducto de entrada que se encuentra en la parte superior de las boquillas, se conecta la manguera que transporta el ferroceno, que es traído desde la bomba peristáltica. Para su ensamble ésta entra en una conexión rápida de los precalentadores.

En el soporte manufacturado especialmente se ensamblan las diez boquillas, entrando cada uno de los conductos de salida por los barrenos de la placa soporte. A la salida del precalentador se conectará la contraparte, que es un cople con un resorte, tiene dimensiones exactas para que sólo se conecte a los precalentadores sin necesidad de un componente que haga el fijado. Este tipo de conector ya se utiliza en la máquina de hornos circulares.

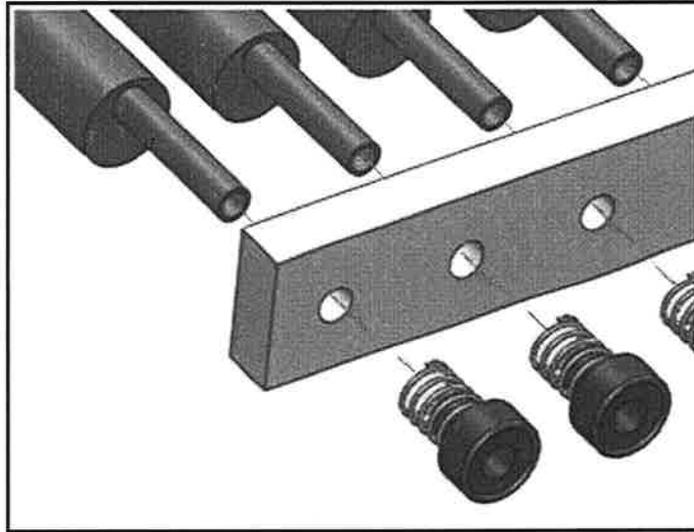


Fig. 56. Ensamble de conexiones a precalentadores.

Resumiendo los ensambles que forman parte del conjunto de los precalentadores, se tienen: las mangueras transportadoras de gas argón que se ensamblan en el conducto posterior de las boquillas, sujetadas con una abrazadera tipo sinfín. Las mangueras que llevan el ferroceno y se ensamblan en el conducto posterior de los precalentadores.

Una vez que se tienen los diez precalentadores con las mangueras se insertan en la placa soporte y se le coloca a cada uno la conexión de contraparte. Esta conexión sellará contra las bases individuales de los tubos de cuarzo una vez que se esté inyectando la mezcla cuando se esté llevando a cabo la fase de síntesis.

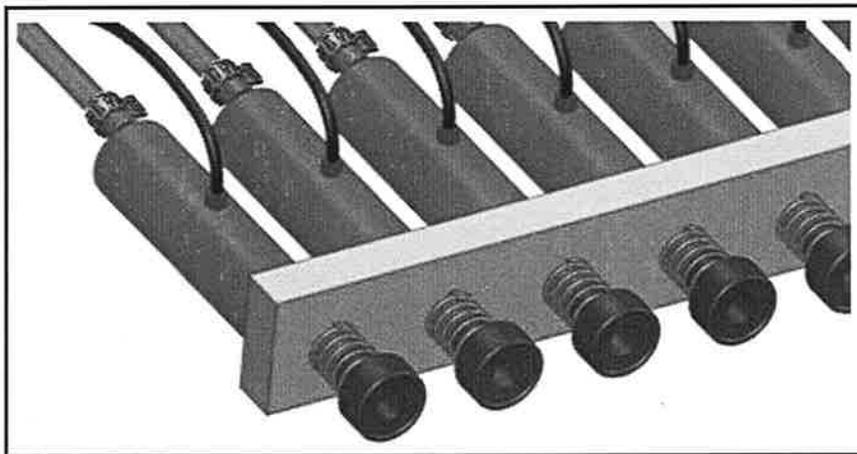


Fig. 57. Ensamble terminado de precalentadores.

A continuación se muestra la forma en que se acoplarán los precalentadores a las bases individuales. La mecánica de este ensamble es que se tendrá un actuador hidráulico fijado a la placa soporte de las boquillas y una vez que cumpla toda su carrera, las conexiones de los precalentadores sellarán contra las bases. El propósito de los resortes entre la punta de las conexiones y las boquillas es amortiguar el impacto producido por el elemento hidráulico y proteger así los dispositivos de nebulización.

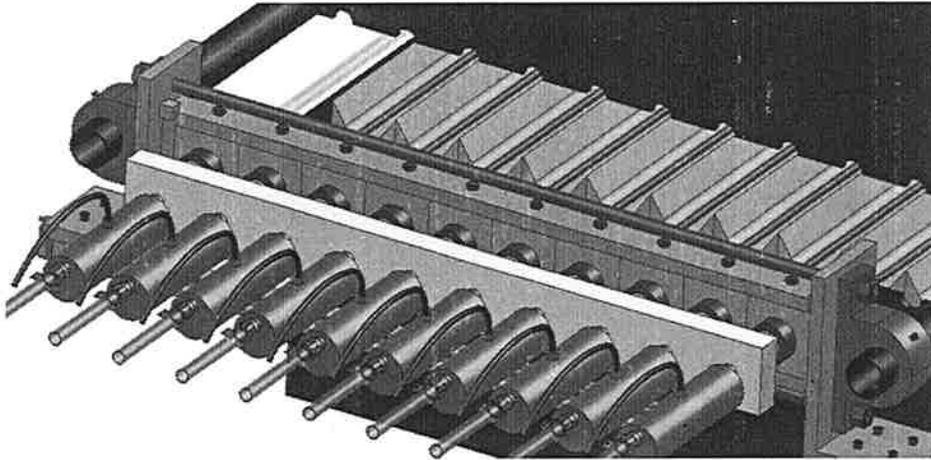


Fig. 58. Representación de ensamble de precalentadores a las bases individuales de los tubos.

En el CONJUNTO DE CEPILLOS están los siguientes ensambles:

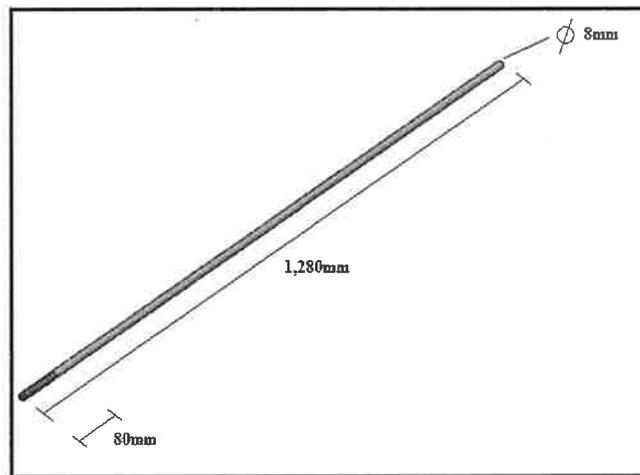


Fig. 59. Cepillo.

Para acoplar cada uno de los cepillos a la base se utilizan unas chumaceras de tipo pared de dos orificios.

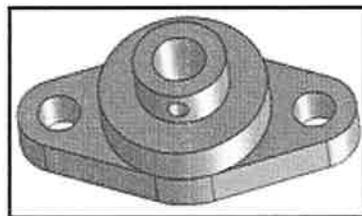


Fig. 60. Chumacera para cepillos.

La base de los cepillos tiene un arreglo de barrenos por todo lo largo de una de sus caras y que servirán para que se acoplen las chumaceras con los cepillos. Para fijar los rodamientos al soporte se utilizó tornillos de tipo cabeza cilíndrica porque el espacio que hay entre los tornillos y los cepillos es reducido y es más sencillo trabajar con una llave hexagonal que con un destornillador o un dado para hacer el apriete.

La sujeción del cepillo lo hace el prisionero de la chumacera.

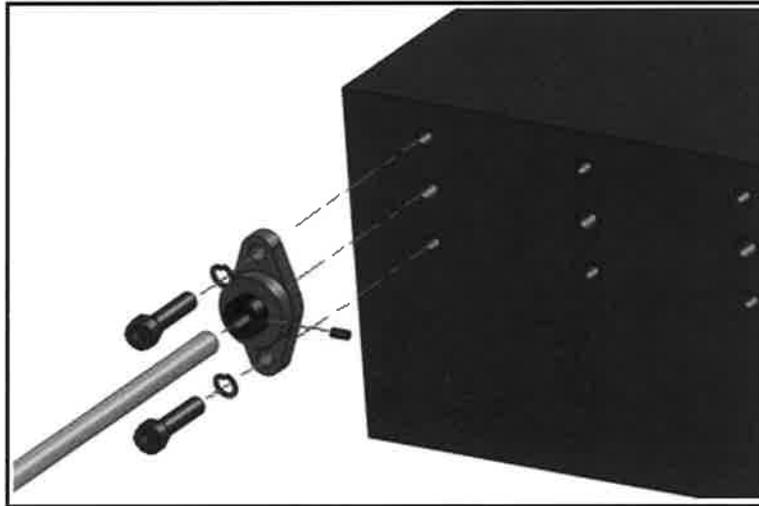


Fig. 61. Ensamble de cepillos a soporte.

En el interior de este soporte se encuentra un sistema de transmisión de fuerza por medio de engranes, que tomará la energía proveniente de la flecha de un motor que se acopla en la parte posterior y la distribuirá a los diez cepillos que estarán en su interior.

El ensamble de los diez cepillos fijados a la base por medio de los rodamientos se muestra a continuación:

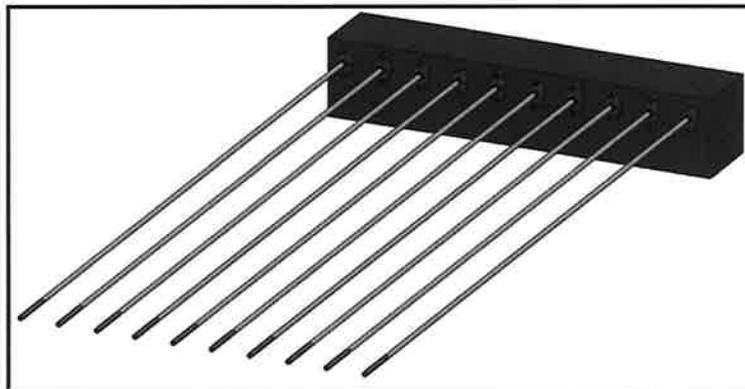


Fig. 62. Ensamble de los diez cepillos al soporte.

Para el movimiento de los cepillos se utiliza un motor DC de bajas revoluciones. El eje de éste entra a la base en la cara opuesta a donde están acomodados los cepillos. Al energizar este motor producirá movimiento en todo el sistema de transmisión interna y así pondrá a girar las barras circulares que entrarán a los tubos de cuarzo para su limpieza.

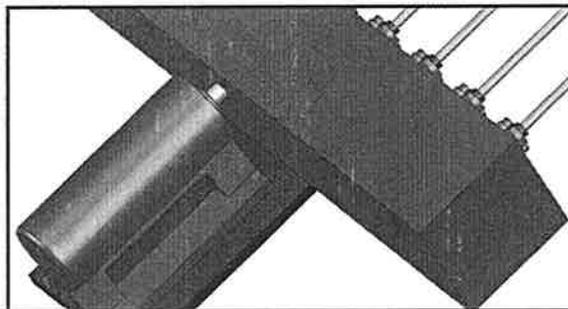


Fig. 63. Ensamble de motor a soporte.

En la parte posterior del motor se tiene una placa que es a la cual se fijarán dos bloques de riel. Estos componentes correrán por su guía para dar paso a que los cepillos entren por todo lo largo de los tubos y restrieguen contra las paredes para remover los NTC adheridos.

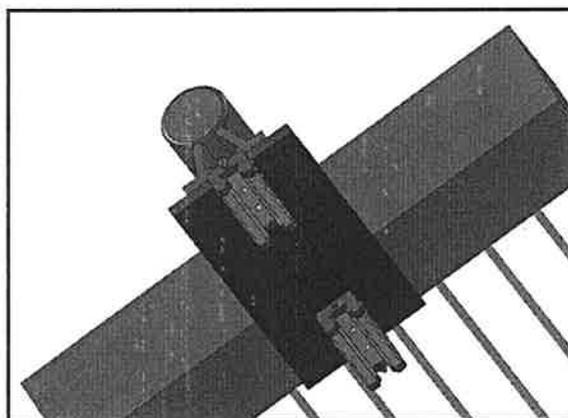


Fig. 64. Ensamble de bloques a placa soporte del motor.

La siguiente figura muestra el proceso de limpieza, que es cuando los cepillos entran a los tubos de cuarzo una vez que salieron de la fase de síntesis.

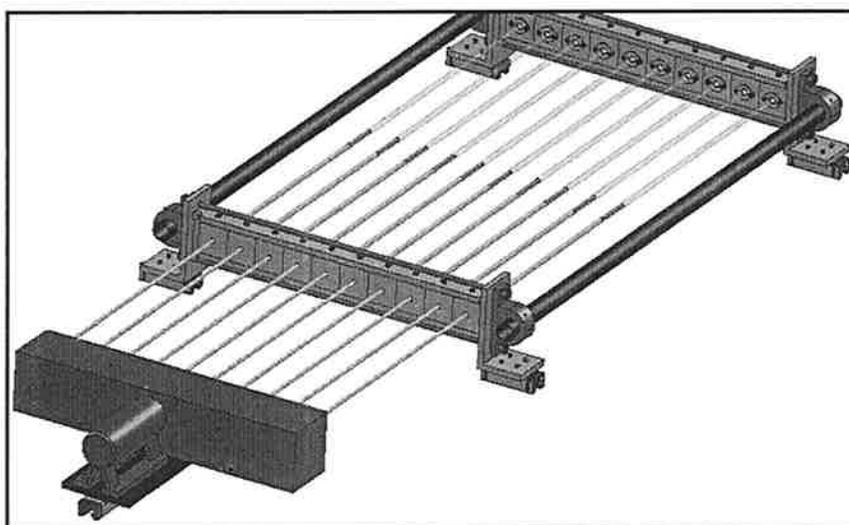


Fig. 65. Representación de ensamble de cepillos dentro de tubos de cuarzo.

En la ESTRUCTURA se tienen a grandes rasgos los ensambles de todos los perfiles tipo Bosch, soportando a la mayoría de los componentes de la máquina, en estas imágenes ya están incluidos los actuadores hidráulicos.

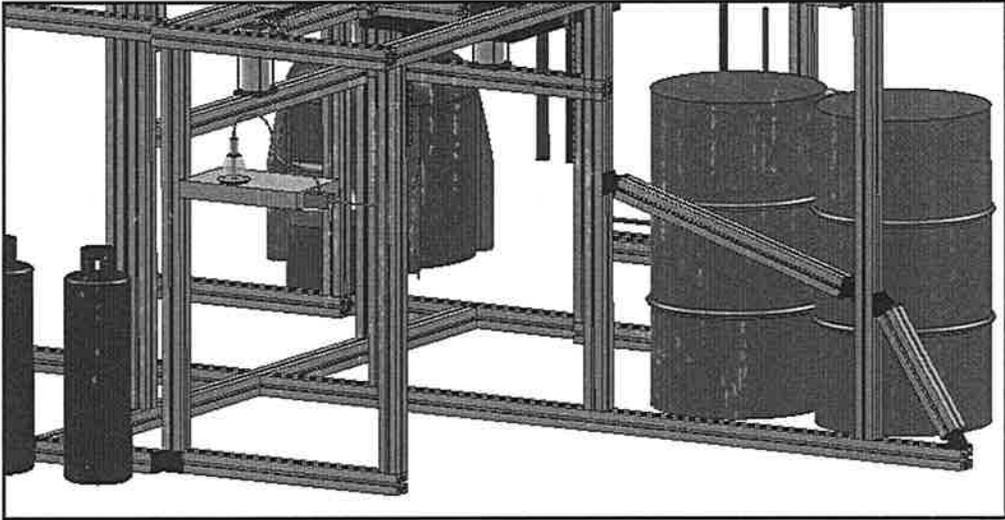


Fig. 66. Ensamble de estructura en la fase de síntesis.

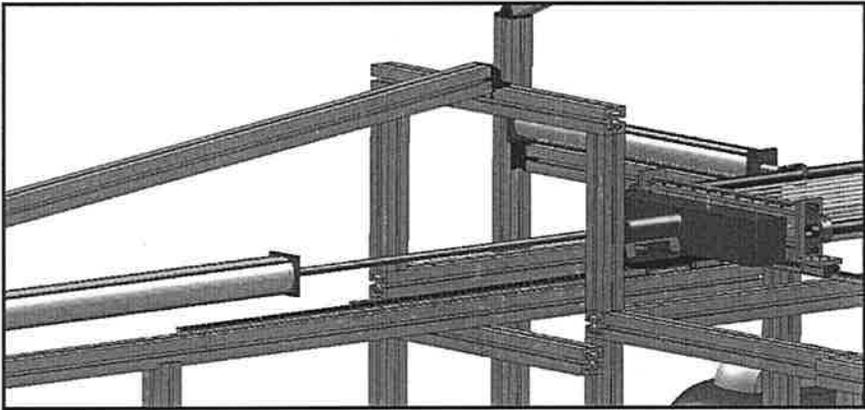


Fig. 67. Ensamble de estructura en la fase de limpieza.

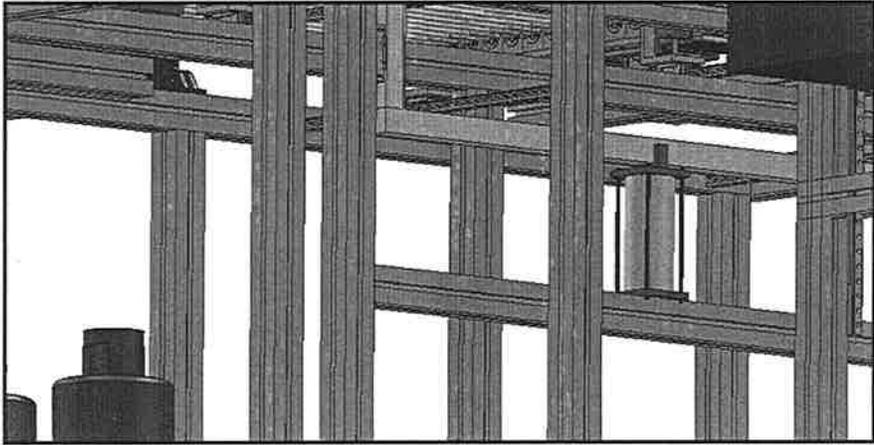


Fig. 68. Ensamble de estructura en la parte central de los rieles.

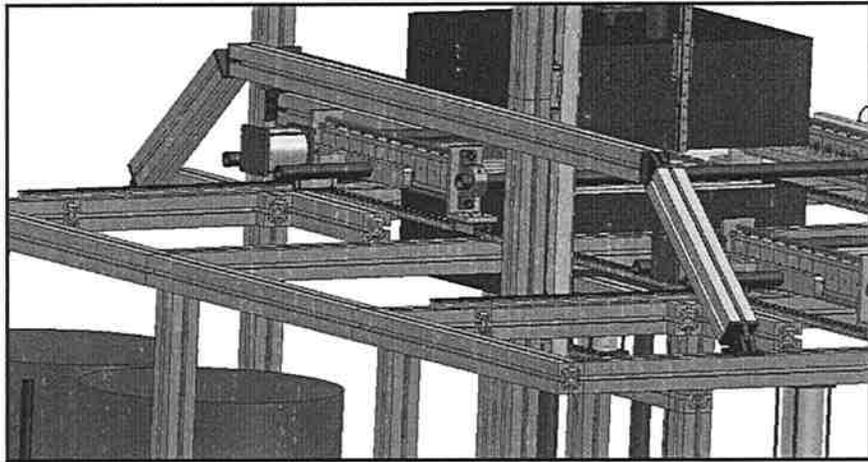


Fig. 69. Ensamble de estructura en la parte de aspirado en la estación de síntesis.

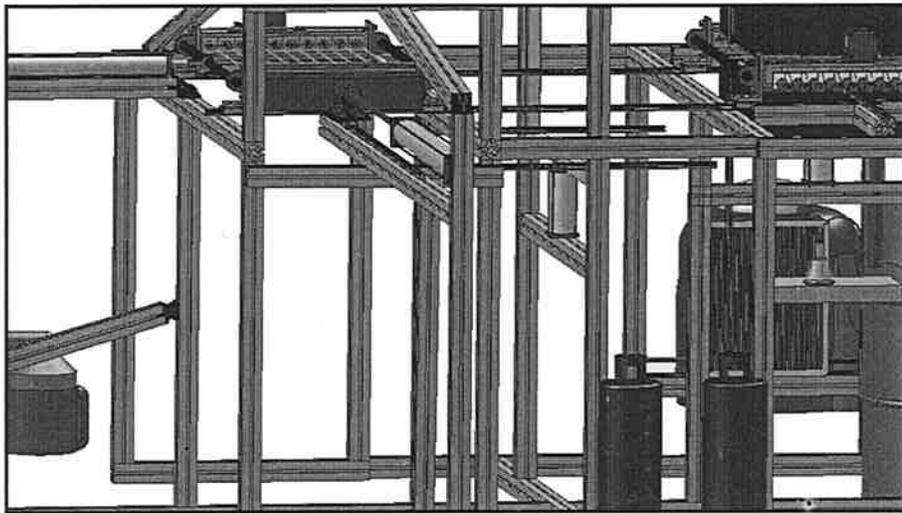


Fig. 70. Ensamble de estructura en la cara frontal de la máquina.

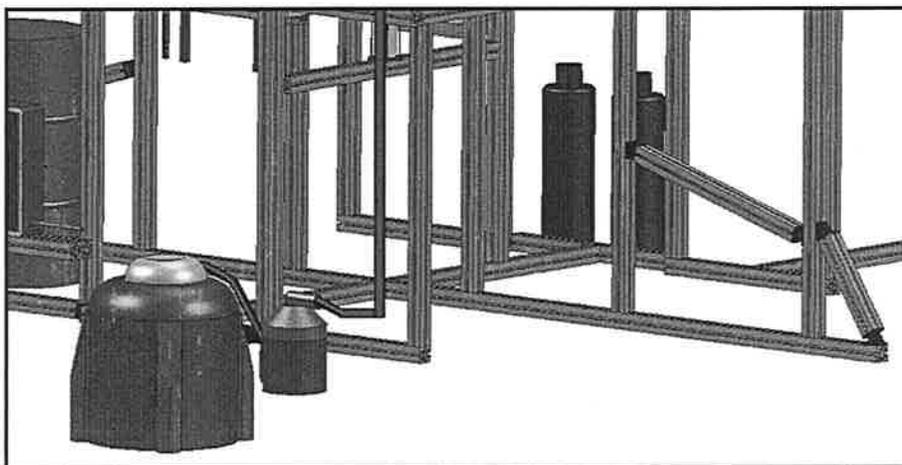


Fig. 71. Ensamble de estructura en la fase aspirado en la estación de limpieza.

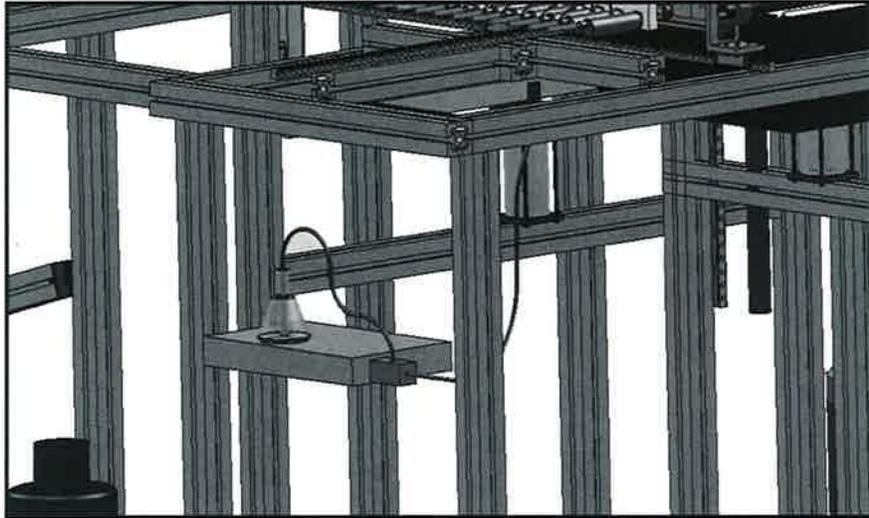


Fig. 72. Ensamble de placa soporte para matraces de ferroceno y bomba peristáltica.

Hasta este punto se han hecho todos los ensambles de los diferentes conjuntos que conforman el sistema, incluso la estructura, y se procedió a indicar las dimensiones de la máquina, las cuales se muestran en las siguientes imágenes.

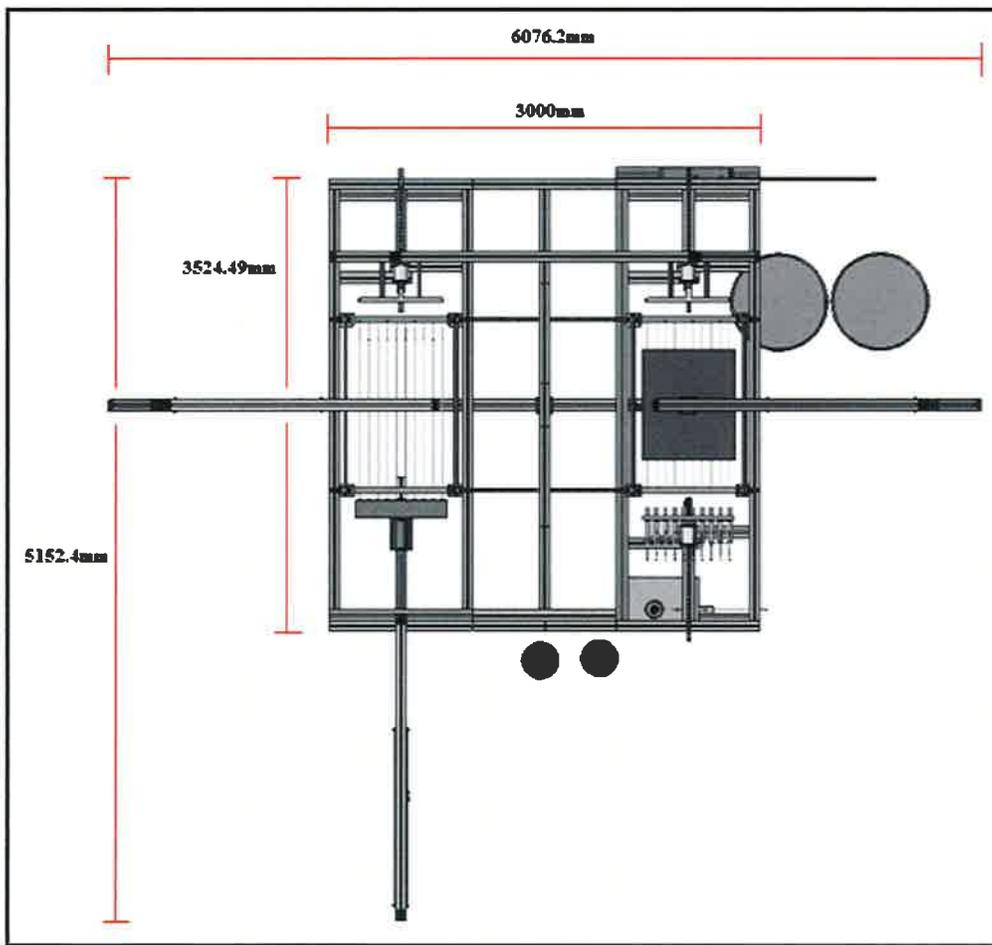


Fig. 73. Dimensiones de máquina NTC terminada, vista superior.

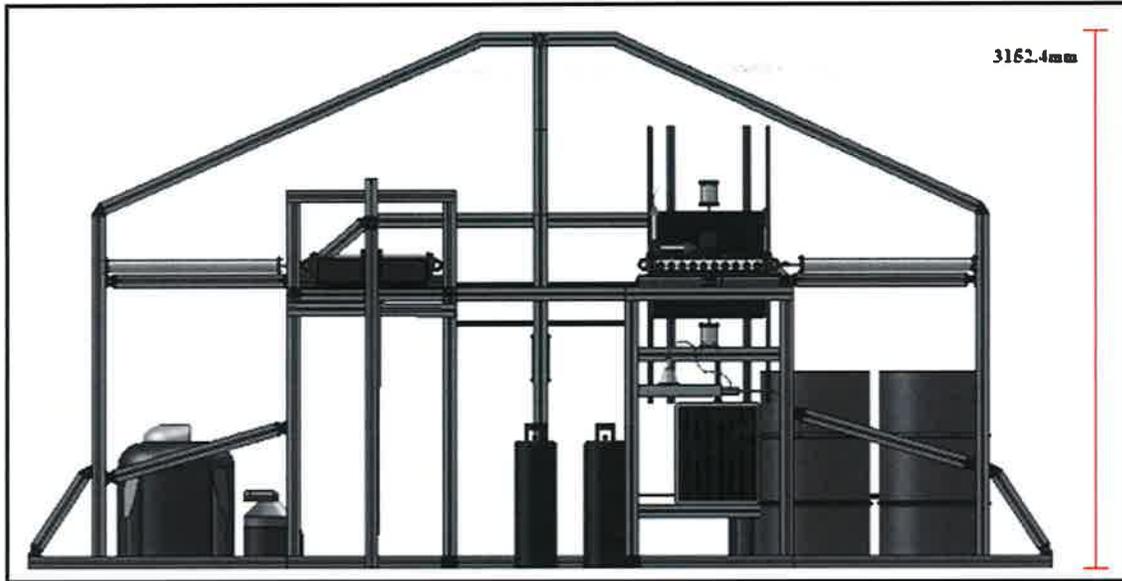


Fig. 74. Dimensiones de máquina NTC terminada, vista frontal

La siguiente figura muestra la máquina de NTC terminada, a la cual se le dio el nombre de **CNT-LC-1** (*Nanotubos de Carbono Configuración Lineal Versión 1*):

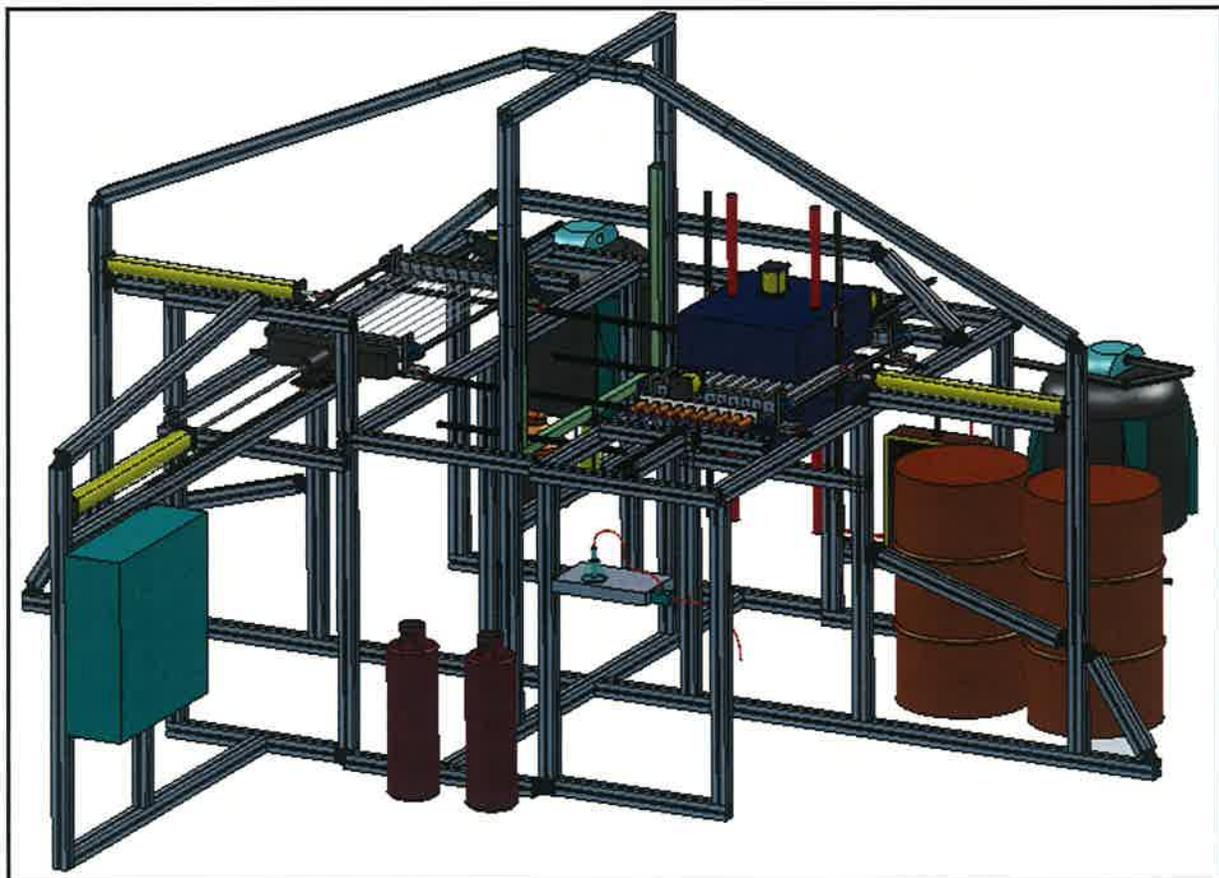


Fig. 75. CNT-LC-1.

## 4. Conclusiones

Después de terminar el diseño de esta máquina pude apreciar varias cosas, que las puedo dividir en tres rubros:

Dentro de las **conclusiones generales** del proyecto pude ver la importancia de aplicar un método puntual para llevar a cabo un diseño en Ingeniería, como el que se utilizó en este trabajo, en el que primero había que identificar la necesidad. Esto me sirve dentro de mi vida profesional para dar seguimiento al trabajo por objetivos; la importancia de practicar el trabajo por objetivos es primeramente que es más simplificado ya que se ahorra en tiempo y esfuerzo; segundo porque es más sencillo delegar funciones y darse a entender cuando se trabaja bajo un fin bien identificado; tercero, nos da la pauta para hacer un análisis de las tareas que se están realizando en un momento determinado y analizar si lo debido es continuar con ellas o abandonarlas, ya que si nos damos cuenta de que alguna tarea simplemente no nos llevará a lo que necesitamos, no tiene caso seguir con ella –que de hecho es algo que experimenté durante la realización de este trabajo, a veces estaba demorando demasiado en alguna actividad, y volviendo a analizar desde el principio, es decir desde la necesidad, era una labor que no me iba a satisfacer el requerimiento, por lo que debía abandonarla-.

También dentro del proceso de diseño pude comprender la importancia de primer realizar un diseño tipo esquema antes de realizar un modelo. Más debe ser un diseño que contenga todas las funciones básicas y parámetros para que pueda dar resultado; y es que en ocasiones nos enfocamos mucho en lo complejo y elaborado y perdemos la noción de que en lo más básico muchas veces se encuentra la respuesta.

Además pude darme cuenta de lo útil que es llevar a cabo primero el diseño conceptual de una idea antes de llevar a cabo un diseño mecánico completo, ya que podemos concebir mejor la idea con un diseño básico para entender la mejor manera en que se pueden aplicar las leyes de la mecánica en el diseño final de algún sistema.

En cuanto a las **conclusiones específicas** de este proyecto pude apreciar que no sería muy complicado construir esta máquina si algún día se llevara a la práctica; ya que muchos de los componentes son comerciales y los que no lo son, se diseñaron de forma que no sea muy complejo maquirarlos, más que nada en cuanto a las geometrías que se escogieron. En cuanto a los componentes comerciales me viene a la mente la experiencia que tuve cuando me encontraba trabajando en una empresa en el departamento de Compras, cada vez que se requerían refacciones de fabricación especial, ya fuera mandar a hacer a un torno o a cortar con máquina láser o de chorro de agua, había que pedirlos con bastante anticipación, aparte de que se tienen las desventajas de que son más costosas y en algunas ocasiones no quedaban maquinadas a la perfección por lo que demoraban más tiempo. Es la ventaja que se tiene de utilizar una máquina con componentes estandarizados, ya que si en algún momento alguna marca no tiene las piezas disponibles, alguna otra marca debe manejar los mismos estándares.

Ya que todo el diseño de este sistema se hizo en el software SolidWorks®, tuve la oportunidad de ver su utilidad, creo que es una gran plataforma de diseño mecánico, por todas las funciones que ofrece, desde el levantamiento en 3D de cualquier pieza, para poder idearla antes de llevarla a maquinado, o los estudios de animación –que fue lo que se utilizó en este trabajo-, la selección de materiales que puede ahorrar tiempo en cálculos de resistencias, y muchas otras. Fue de gran agrado haber trabajado con este software.

En cuanto a **mejoras futuras** pensé en evaluar la idea de realizar los cuatro procesados dentro de cada una de las dos estaciones, a manera de ganar un poco de tiempo, es decir, si se tienen las mismas dos estaciones de trabajo, pero que cada una cuente con un horno, un conjunto de precalentadores, una aspiradora de gases, un juego de cepillos y una aspiradora para NTC; funcionando con la siguiente lógica:

Se inyectan los gases dentro de los tubos y comienza la síntesis, que dura alrededor de 20min, al terminar se abre el horno, y se deja enfriar los tubos para después aspirarlos y limpiarlos, este proceso dura alrededor de 8-10min e inmediatamente después pueden volver a pasar a síntesis, haciendo así el proceso de unos 30min y así siempre se tendría en operación a los dos conjuntos de tubos de cuarzo. Aumentando así alrededor del doble la producción que con el sistema actual, que después de los 20min de síntesis los tubos, pasan a la limpieza, pero una vez que terminan de ser aspirados y cepillados, quedan aproximadamente de 10-12min en espera a que la síntesis en el otro conjunto de tubos termine. Sobre estos minutos de espera es sobre los que pienso se podría trabajar una eficiencia futura. Ya en cuanto a los acoples de aspiradoras, boquillas y cepillos, todos dentro de la misma estación habría que hacer un rediseño, que creo que no sería complicado.

# Bibliografía

1. Spotts M.F. & T. E. Shoup., *Design of Machine Elements* (1998), 7° Ed., Prentice Hall.
2. Juvinall R.C. & Marshek K.M., *Fundamentals of Machine Component Design* (2000), 3° Ed., Wiley.
3. Quin L.C., *CVD synthesis of Carbon Nanotubes*, Journal of Materials Science Letters (1997).
4. Murillo F.J. et al., *Diseño de Planta para Producción Continua de Nanotubos de Carbón* (2009).
5. Guerra S.M., *Análisis, Diseño y Optimización de Horno para Fabricación de Nanotubos de Carbón* (2012).
6. González S.G., *El Gran Libro de SolidWorks® Office Professional* (2008).
7. McBride W.S., *Synthesis of Carbon Nanotubes by Chemical Vapor Deposition* (2001).
8. CIDESI, CIMAV, IITT, *Antecedentes, Colaboración y Experiencia CIDESI-NTC* (2009).
9. CIDESI, *Reporte de Actividades Febrero-Agosto 2009*.
10. Mott Robert L., *Diseño de elementos de máquinas* (1995) 2° Ed., Prentice Hall.

1. Especificaciones de los bloques y rieles utilizados en el modelo por la marca comercial THK.



## 10a. GUÍA DE MOVIMIENTO LINEAL TIPO SR TIPO RADIAL ALTAMENTE RÍGIDO

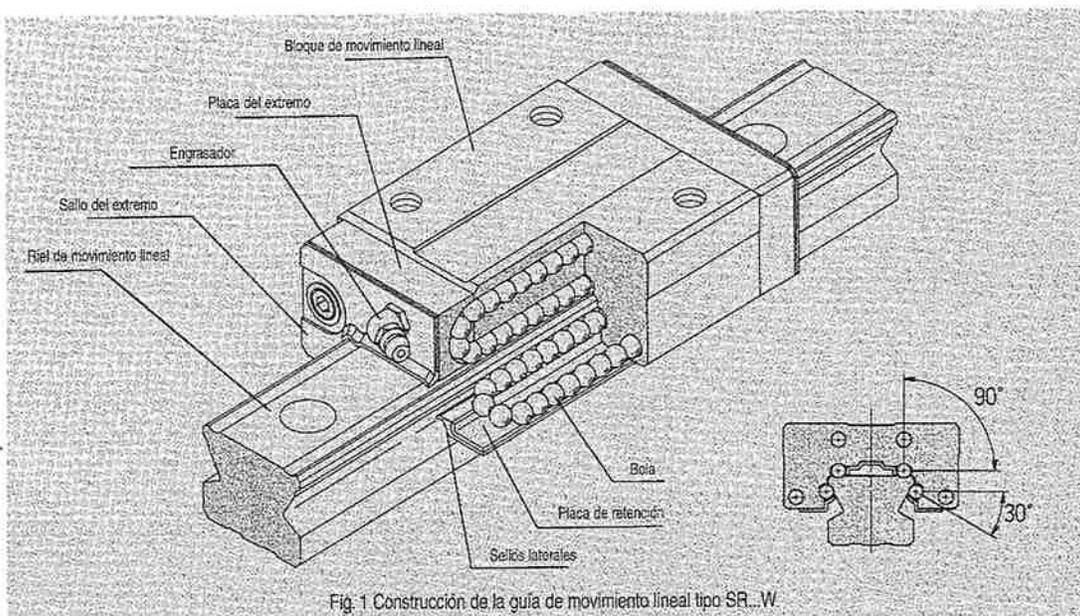


Fig. 1 Construcción de la guía de movimiento lineal tipo SR...W

### CONSTRUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Las bolas ruedan a lo largo de las cuatro hileras de los anillos de rodaduras rectificadas-formadas entre el riel de movimiento lineal y el bloque de movimiento lineal. Las placas del extremo, instaladas en ambos extremos del bloque de movimiento lineal, hacen que las bolas circulen a lo largo de las pistas de rodamientos. Las placas de contención retienen las bolas para que no se caigan cuando se quita el bloque de movimiento lineal del riel de movimiento lineal. El bloque de movimiento lineal de bajo perfil está diseñado para ser altamente rígido de manera tal que el movimiento lineal sea muy preciso y constante.

#### COMPACTA Y DE ALTA RESISTENCIA

La guía de movimiento lineal tipo SR tiene un perfil bajo y es compacta. Las superficies de contacto de la bola están perpendicular a la línea vertical de la fuerza, por lo que el modelo es apropiado para los mecanismos de guía horizontal.

#### FÁCIL DE MONTAR CON PRECISIÓN

El tipo SR puede absorber cantidades lógicas de error en el paralelismo y en la compensación de dos niveles para facilitar el montaje y un movimiento lineal preciso y liviano.

#### OPERACIÓN SILENCIOSA

Las placas del extremo están diseñadas para que cada hilera de bolas circule suavemente, y de esta manera, obtener un movimiento lineal con poco ruido.

#### EXCELENTE DURABILIDAD

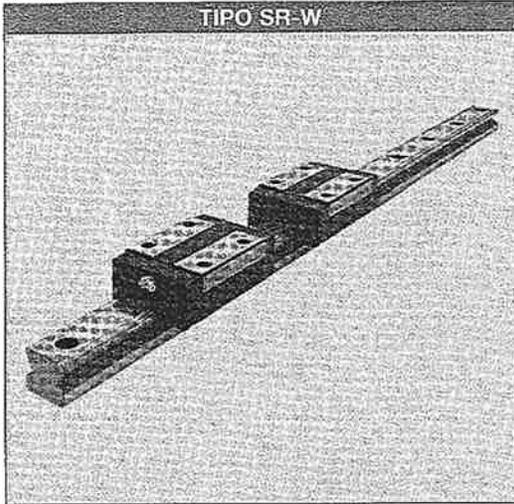
Dada una precarga o cargas desparejas, las bolas no producirán ninguna diferencia en el desplazamiento, por lo que las bolas rodarán y circularán suavemente. Esto hace que la guía de movimiento lineal sea muy resistente al desgaste, de esta manera se mantiene la precisión por más tiempo.

#### TAMBIÉN DISPONIBLE EN ACERO INOXIDABLE

Los bloques de movimiento lineal, los rieles de movimiento lineal y las bolas se pueden fabricar en acero inoxidable a pedido. Funcionan en una sala blanca, en un ambiente en el que no se permite la lubricación y en el que no estén expuestos a salpicaduras de agua. Especificar guías de movimiento lineal de acero inoxidable si estas aplicaciones son las deseadas.

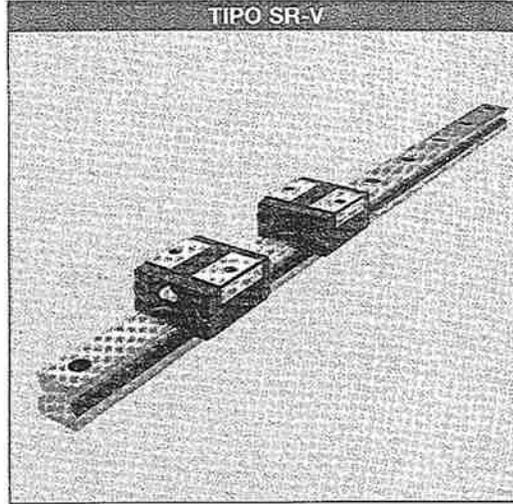
## TIPOS Y CARACTERISTICAS

TIPO SR-W



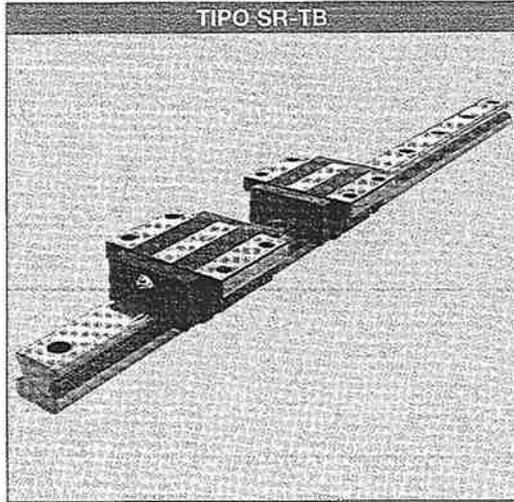
Este popular estilo de bloque presenta un perfil bajo y es compacto. Tiene un alto valor de carga radial y el movimiento lineal es estable.

TIPO SR-V



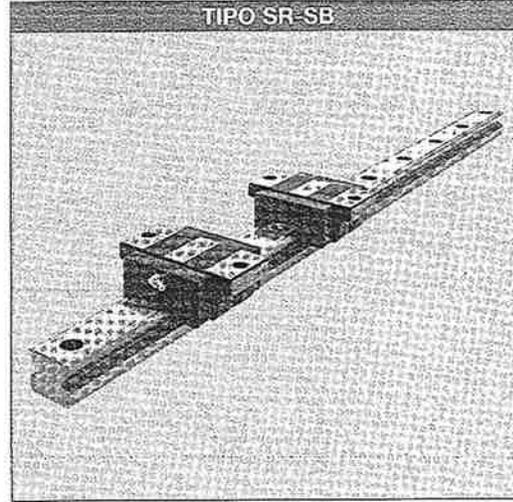
El tipo SR-V es similar al tipo SR-W, excepto que el bloque del movimiento lineal tipo SR-V es más corto. Por lo tanto, hay más lugar para el montaje.

TIPO SR-TB



Este tipo tiene la misma altura que el tipo SR-W. Los pernos de montaje del bloque de movimiento lineal pueden colocarse desde la parte inferior del bloque de movimiento lineal.

TIPO SR-SB



Esto hace que las características de rendimiento sean las mismas que las del tipo SR-V. Los pernos de montaje del bloque de movimiento lineal pueden colocarse desde la parte inferior del bloque de movimiento lineal.