

MÓDULO

PARA LA GENERACIÓN DE GEOMETRÍAS DE ROTORES PARA MÁQUINAS HIDRÁULICAS AXIALES POR MEDIO DEL PROGRAMA INVENTOR

MSc. Carlos Andrés Aguirre Rodríguez

Facultad de Ingeniería Mecánica
MODALIDAD PRESENCIAL



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
SECCIONAL TUNJA

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES 1732

AGUIRRE, Carlos Andrés.

**MÓDULO PARA LA GENERACIÓN DE GEOMETRÍAS PARA MÁQUINAS
HIDRÁULICAS AXIALES POR MEDIO DEL PROGRAMA INVENTOR.**

Páginas. Tamaño 16 x 22 cm
Incluye referencias Bibliográficas
ISBN: 978-628-7504-25-7



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
SECCIONAL TUNJA

VIGILADA MINEUCACIÓN • SNIES 1732

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
SECCIONAL TUNJA**

Tunja - Boyacá - Colombia

Av. Universitaria n.º 45 - 202
Campus Avenida Universitaria
Edificio Santo Domingo de Guzmán

Calle 19 n.º 11 - 64
Campus Centro Histórico
Edificio Fr. Luis Carlos Perea Sastoque, O.P.

PBX: (8) 7440404 · Ext.: 5980

www.ustatunja.edu.co

Primera edición, 2021
ISBN: 978-628-7504-25-7

© Carlos Andrés Aguirre Rodríguez

CORRECCIÓN DE ESTILO
Fr. Ángel María Beltrán Naranjo, O.P.

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN
Departamento de Comunicaciones Seccional Tunja



COMITÉ EDITORIAL

Fr. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.
Rector Seccional

Fr. Héctor Mauricio VARGAS RODRÍGUEZ, O.P.
Vicerrector Administrativo y Financiero

Fr. Omar Orlando SÁNCHEZ SUÁREZ, O.P.
Vicerrector Académico

María Ximena Ariza García
Directora Ediciones USTA Tunja

Sandra Consuelo Díaz Bello
Directora Unidad de Investigación e Innovación

Juan Carlos Canoles Vásquez
Director Centro de Recursos para el
Aprendizaje y la Investigación

Biografía Autor

Magister en ingeniería mecánica en el área de dinámica de los fluidos y máquinas de flujo de la Universidad Federal de Itajubá - UNIFEI (Brasil), Ingeniero y Tecnólogo mecánico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas - UDFJC, Técnico profesional en mantenimiento mecánico industrial del SENA, Experiencia en el área de diseño de proyectos de máquinas hidráulicas y diseños mecánicos para automatización industrial, aplicación de herramientas de dinámica de fluidos computacional ANSYS y herramientas de diseño asistido por computador AutoCAD, Solid Edge e Inventor.



Tabla de contenido

Presentación.....	7
Introducción	9
Objetivos del módulo	10
Generación de la geometría del rotor axial	11
1. Principales herramientas de Inventor® a usar en este módulo	11
2. Datos de los perfiles del rotor.....	13
3. Importar datos y creación de perfiles.....	15
4. Extrusión de las estaciones y proyección de perfiles.....	19
5. Solevación de los alabes y creación del rotor	23
Infografía.	27



Presentación

El presente módulo se orienta en el desarrollo y modelamiento de geometrías para rotores de máquinas hidráulicas axiales basadas en el diseño asistido por computador o *software CAD*. En este sentido, es importante enfatizar dos puntos principales. Inicialmente, la relevancia de la temática tratada en este documento para los estudiantes de ingeniería, ya que el modelamiento de dichas geometrías son la plataforma que permite desarrollar y/u optimizar máquinas hidráulicas que aprovechen las energías renovables como la eólica o la corriente de los ríos, sin impactos relevantes en el medio ambiente. Esta temática cobra mayor importancia cuando el impacto se puede dar en las zonas no interconectadas al sistema de energía eléctrica nacional, las cuales, representaban para el año 2017, el 52% del territorio colombiano y una población aproximada de 1.900.000 habitantes (Superintendencia Delegada para Energía y Gas Combustible, 2017). Por otro lado, la literatura especializada en el modelamiento de componentes por medio de *software CAD*, trata temáticas generales que aportan para el desarrollo del estudiante, pero es una tarea compleja encontrar documentos que proporcionen información específica acerca del modelamiento de geometrías para máquinas hidráulicas axiales. Por lo tanto, este módulo procura favorecer la aplicación de conocimientos generales en temáticas puntuales de máquinas hidráulicas y acercar a los estudiantes a la solución de problemáticas de interés regional, nacional y global.

Para el desarrollo de este módulo, el estudiante debe contar con conocimientos básicos de modelamiento asistido por computador Inventor® (Dibujo de máquinas), máquinas hidráulicas y manejo de Excel®. Aquellos lectores que están iniciando en el manejo de esta herramienta CAD, se les recomienda realizar un curso que les permitan conocer las herramientas básicas del programa. Una de estas alternativas es el curso MOOC Introducción a Autodesk Inventor® para diseño CAD de la Universidad Santo Tomas Tunja (Universidad Santo Tomas Tunja, 2017), al cual se puede acceder por medio del enlace QR que se presenta en la Figura 1.



Figura 1. Enlace QR del curso MOOC

Así mismo, la recomendación es desarrollar inicialmente el Módulo para el diseño de rotores en máquinas hidráulicas de flujo axial, seguir una guía alternativa de la literatura recomendada o descargar el archivo compartido en este módulo, con el fin de obtener una geometría de los perfiles basada en puntos para cada uno de las etapas que componen el alabe.

Introducción

El modelamiento de componentes mecánicos usando programas de diseño asistidos por computador ha evolucionado desde los años 50, presentando diversas alternativas de programas, dependiendo de las necesidades particulares del usuario o de la empresa en cuanto cantidad, representación y tipo de piezas que requieren modelar (Autodesk, Inc, 2017). Entre los programas más reconocidos a nivel global en la industria se encuentra el Inventor de Autodesk® (Infiniti Research Limited, 2016), el cual, cuenta con una amplia serie de tutoriales y una página en línea con múltiples temas de interés para el usuario, pero las temáticas son orientadas a aplicaciones generales o manejo del programa. Por tal razón, se hace necesario generar un módulo donde se presente al estudiante de ingeniería cómo aplicar e integrar los conocimientos generales que posee del manejo del programa Inventor® y de cálculo de máquinas hidráulicas, en el desarrollo de rotores para máquinas axiales. Este módulo parte de dichos conocimientos del estudiante y le explica paso a paso cómo generar geometrías tridimensionales para el análisis de su diseño y posterior optimización o fabricación, promoviendo competencias que le permite al estudiante aplicar los conocimientos teóricos en herramientas tecnológicas prácticas con responsabilidad social y compromiso ciudadano.

En este módulo se emplearán las siguientes herramientas de Autodesk Inventor®: Importar puntos desde archivo Excel®, elevación, extrusión de superficies, coser y otras básicas.

Objetivos del módulo

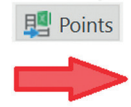
- Generar un modelo 3D de un rotor axial a partir de los puntos de los perfiles aerodinámicos que componen el alabe.
- Emplear las herramientas de importar puntos (coordenadas) desde un archivo Excel® para generar los perfiles de los alabes de cada rotor.
- Construir cada una de las estaciones del rotor y proyectar sus respectivos perfiles.
- Generar la geometría del alabe con herramientas de elevación de superficies para formar finalmente el rotor.
- Acercar al estudiante en la aplicación de conocimientos generales del manejo del programa Inventor® y de cálculo de máquinas hidráulicas en aplicaciones puntuales de rotores axiales, como solución de problemáticas reales.

Generación de la geometría del rotor axial

1. Principales herramientas de Inventor® a usar en este módulo

El proceso de modelamiento del rotor de una máquina hidráulica en un programa CAD requiere de un conocimiento básico de las principales herramientas que ofrece Inventor®. En esta sección se presentan las herramientas más importantes que usa el módulo para cumplir con su objetivo.

La primera herramienta que cobra importancia es **“Importar Puntos”** ubicada en la pestaña **“Boceto”** y grupo **“Insertar”**, para esta herramienta, que se activa cuando se inicia un nuevo boceto, se debe tener en cuenta la organización de los datos en el archivo Excel® de tal forma que el programa Inventor® los lea de forma correcta al momento de insertarlos. En la Figura 2 se presenta el orden como deben estar organizados los datos en las casillas de la hoja de cálculo, también es necesario definir cuál es la hoja que está en el primer lugar del archivo como en la Figura 2 se observa la **Hoja 1**. En la casilla naranja se incluyen las unidades de las coordenadas, en las casillas azules los ejes coordenados y en las casillas verdes los valores de las coordenadas.



	A	B	C
1	Unidades		
2	X	Y	Z
3			
4			
5			
6			
7			

Hoja1

Figura 2. Icono de la herramienta importar puntos y organización de los datos a importar dentro del archivo Excel®

La segunda herramienta que se usa para el desarrollo del módulo es **extrusión**, la cual, es una operación básica dentro del programa Inventor®, pero en esta actividad en particular se extruirán superficies y no cuerpos sólidos. La extrusión es una extensión de una geometría o boceto previamente dibujado en una dirección perpendicular al mismo, en la Figura 3 se muestra el icono de activación de la herramienta. Al iniciar una extrusión se activa una ventana que muestra todas las opciones y herramientas que se tienen para obtener el resultado deseado, las cuales se presentan en la Figura 3 y se explican a continuación:

1. Elementos a seleccionar (Base de la extrusión)
2. Elemento de salida (Sólidos o superficies)
3. Tipo de operación (Unir, cortar, intersectar y nuevo sólido)
4. Extensión (Distancia, hasta entre)
5. Cuadro de extensión
6. Dirección de la operación.

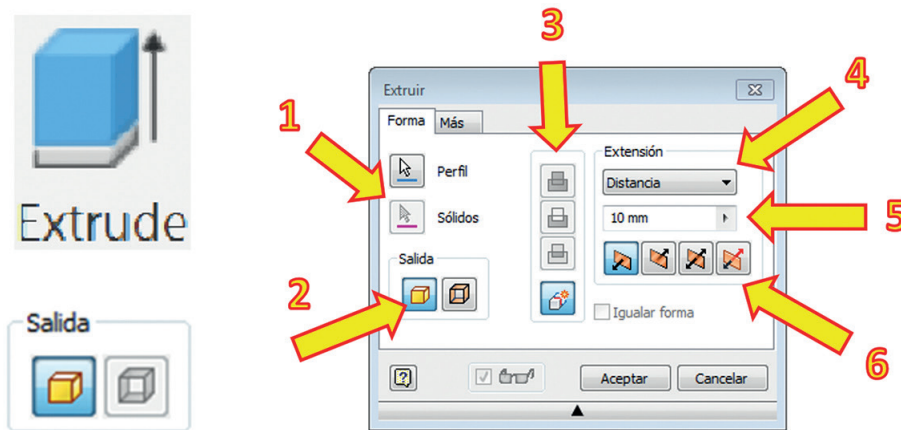


Figura 3. Icono y ventana de opciones para la herramienta extrusión de Inventor®

Para este caso, se resalta la opción 2, que es donde se selecciona la opción de superficie como resultado de la operación.

La tercera operación que se aplica en este proceso es la “**solevación**”, que permite unir diversos perfiles con geometrías diferentes en un cuerpo continuo, el cual, puede ser sólido o solo superficies, como se muestra en la Figura 4. Para el alabe del rotor se usa la

opción de salida con superficies, en las secciones se usan los perfiles de los alabes y se deben usar railes para indicar las líneas límites que guían la solevación.



Figura 4. Icono y ventana de opciones para la herramienta solevación de Inventor®

2. Datos de los perfiles del rotor

Antes de iniciar esta guía se debe contar con todos los puntos de los perfiles para cada una de las estaciones calculadas en el Módulo para el diseño de rotores en máquinas hidráulicas de flujo axial, desarrollado también para la Facultad de Ingeniería Mecánica en un archivo Excel®. Este proceso se puede encontrar en los libros *Projeto de máquinas de fluxo: tomo V, ventiladores com rotores radiais e axiais* (Ed. 1) de Zulcy de Souza, en el capítulo 3 de la segunda parte, y en el libro *Strömungsmaschinen* de Pfeiderer y Petermann, en la sección 9.72. En estas secciones de estos dos libros se explica de manera minuciosa cada uno de los pasos, ecuaciones y consideraciones que se deben seguir para llegar a la tabla con las coordenadas de cada perfil que componen el rotor de la máquina hidráulica.

Este documento ofrece una alternativa para el desarrollo de este módulo, sin necesidad de realizar el cálculo del rotor, usando el enlace presentado en la Figura 5, podrá descargar el archivo Excel® con los datos necesarios para continuar con el modelamiento del rotor axial. El archivo compartido hace parte del desarrollo de un ventilador axial con cinco estaciones.



Figura 5. Enlace QR para la descarga de los datos iniciales en Excel® para cada estación

El primer paso es trasladar los perfiles del archivo Excel® al programa CAD Inventor®, para lo cual, es necesario acomodar los puntos de cada estación del álabe en una hoja de Excel® diferente como se aprecia en la Figura 6.

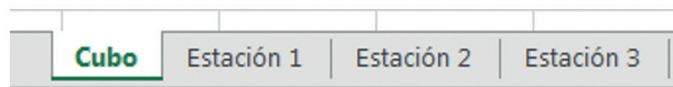


Figura 6. Hojas de Excel® para cada estación

En cada una de estas hojas se deben acomodar los datos de la siguiente forma:

- En la casilla A1 se determinan las unidades en las que se manejan o se calculan los datos, para este caso milímetros (mm).
- Se organizan los datos en dos columnas, en las casillas A2 y B2 se escriben los ejes coordenados “x” y “y”, bajo la columna A todos los datos de “x” y bajo la columna B todos sus pares coordenados “y”, como se muestra en la Figura 7.

	A	B
1	mm	
2	x	y
3	0	2.8212766
4	1.3629859	5.6425532
5	2.7259718	6.8042553
6	5.4519436	8.4638298
7	8.1779154	9.7914894
8	10.903887	10.842553
9	16.355831	12.446809
10	21.807774	13.387234
11	32.711662	14.217021
12	43.615549	13.940426
13	54.519436	12.834043

Figura 7. Organización de los datos

3. Importar datos y creación de perfiles

Después de organizar los datos, se abre el programa Inventor®, en el ambiente pieza en milímetros y se genera un nuevo boceto en el plano x,y usando la herramienta “Boceto 2D” en la pestaña “Modelo 3D” (ver Figura 8). Dentro de las herramientas de Boceto se selecciona la herramienta “puntos” o importar puntos ubicada en la pestaña Boceto – insertar.

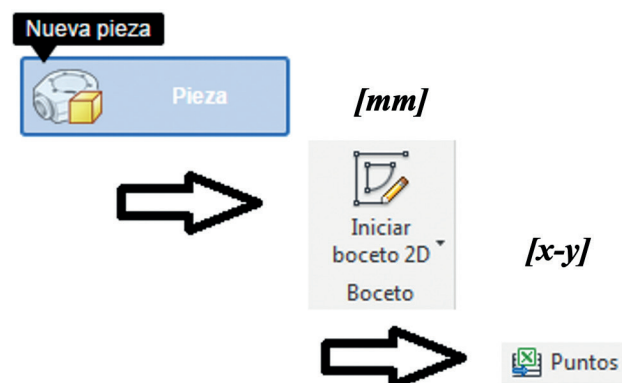


Figura 8. Herramientas para importar puntos

Cuando se selecciona el comando puntos para importar puntos, se abre una ventana que permite ubicar el archivo de Excel® donde se encuentran los *puntos* de los perfiles. La herramienta de Inventor® solo lee los puntos que están en la hoja ubicada en la primera

posición del archivo Excel®, esto quiere decir, que para leer los puntos del cubo (estación 0) se deben organizar las hojas del archivo Excel® como se muestran en la Figura 9-a y se debe guardar; mientras que para que lea los puntos de la estación 1 se deben reacomodar las hojas del archivo como se muestra en la Figura 9-b y se guarda el archivo. Cada vez que se requiera cargar una nueva estación se debe modificar el orden de las hojas y guardar esta nueva configuración antes de cargar el archivo Excel® en Inventor®.

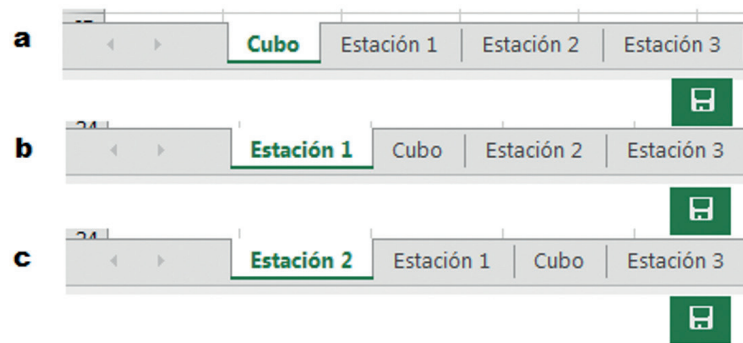


Figura 9. Organización de las hojas de cálculo del archivo Excel® para carga los puntos de cada estación al CAD Inventor®

Luego de seleccionar el archivo de Excel®, que contiene los puntos del cubo en la primera hoja, se abre el archivo y se debe cargar un perfil en puntos, semejante al que se ve en la Figura 10.

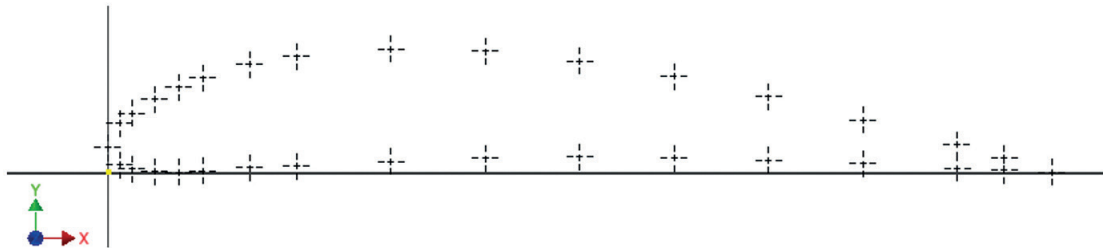


Figura 10. Puntos cargados para el cubo

Teniendo los puntos es necesario unirlos con una *Spline* de interpolación, esta herramienta está en la pestaña **Boceto – Crear**. La herramienta *Spline* se usa en la sección roja del perfil como se muestra en la Figura 6 sin saltar ningún punto para evitar errores en las siguientes operaciones. En la sección azul del perfil se usa la herramienta línea para cerrar el perfil en los dos últimos puntos (ver Figura 11). Esto quiere decir que el perfil está compuesto por 2 elementos una *Spline* y una línea.

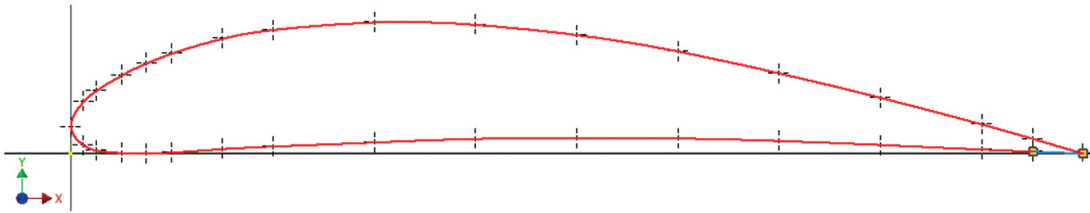


Figura 11. Perfil del cubo en líneas.

Luego de trazar el perfil es necesario rotarlo, para lo cual se busca el punto medio de la longitud de la cuerda (50% o 0.5), se unen los dos puntos (inferior y superior) del perfil con una línea y para ubicar el punto central en “x” y “y” se marca un punto en el centro de la línea anteriormente generada, como se muestra en la Figura 12.

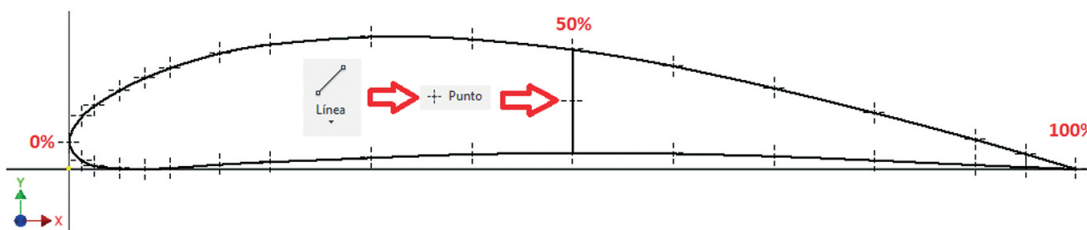


Figura 12. Proceso para ubicar el punto de rotación del perfil.

Luego de marcarse este punto se traslada el perfil al origen de los ejes coordenados (0,0) y posteriormente se rota el perfil según el ángulo β , obtenido en la tabla de cálculos para cada estación. Este proceso se realiza usando los comandos *Desplazar* y *Girar* ubicados en la pestaña **Boceto – Modificar** (ver Figura 13 y Figura 14). Antes de desplazar el perfil es necesario borrar o eliminar la línea generada en el paso anterior, el punto no se elimina.

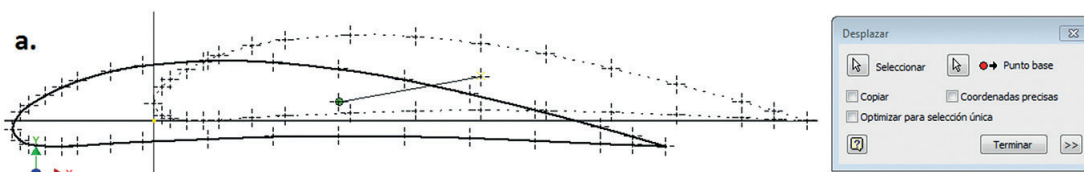


Figura 13. Desplazar perfil

Para rotar el perfil se escoge como punto de rotación el punto central, usado anteriormente para desplazar el boceto, el ángulo debe indicarse como $90 - \beta$, para cumplir con las indicaciones de la Guía Diseño Ventilador Axial para ubicar los álabes o aspas.

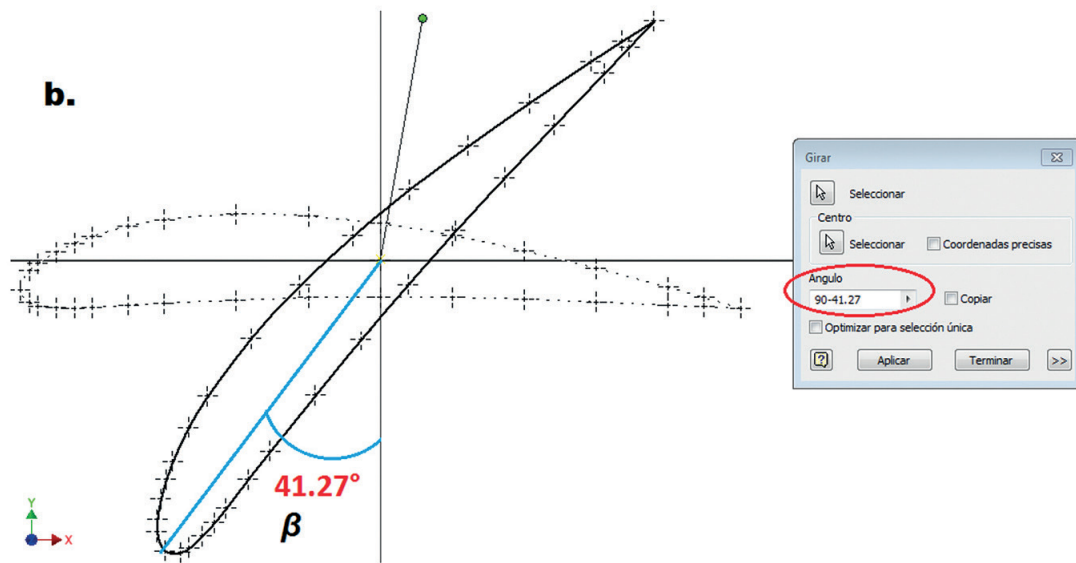


Figura 14. Girar perfil

Luego de rotar el perfil se da por terminado el boceto y se repite el mismo procedimiento para cada estación (ver Figura 15 y Figura 16)

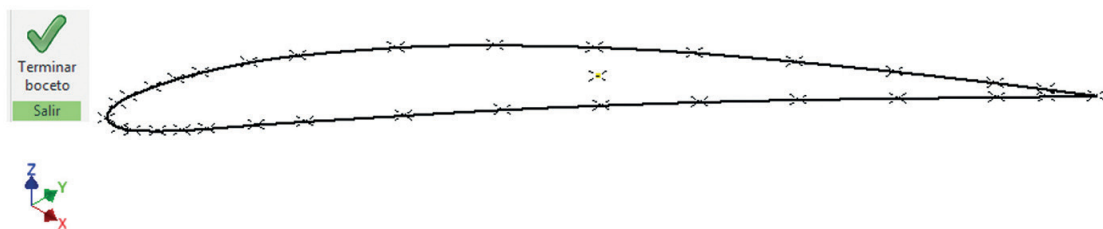


Figura 15. Perfil final del cubo en vista isométrica.

Para este caso se repitió el proceso para cinco estaciones debido a la finalidad puramente demostrativa de la guía, pero el estudiante debe realizarlo según las indicaciones del docente.

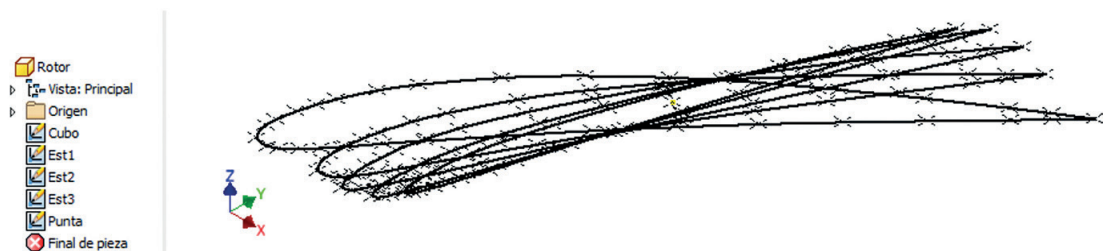


Figura 16. Vista isométrica de los cinco perfiles importados en cinco bocetos diferentes

4. Extrusión de las estaciones y proyección de perfiles

El siguiente paso es generar los diámetros donde deben estar cada uno de los perfiles, estos diámetros se generan como bocetos en el plano “y, z” (ver Figura 17).

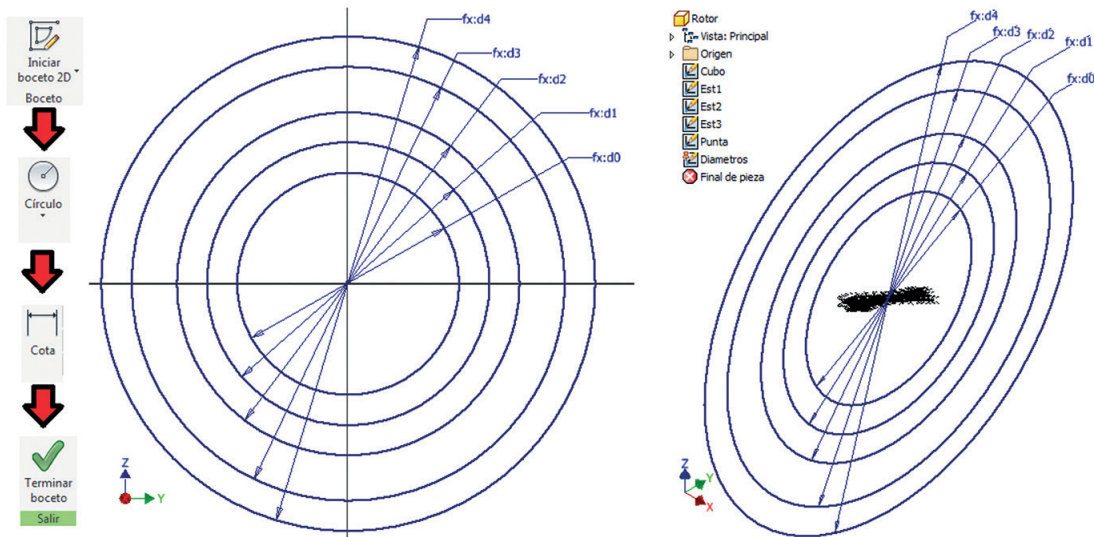


Figura 17. Boceto en el plano y-z e isométrico de los diámetros donde se deben proyectar los perfiles.

Usando el boceto d0 de los diámetros se genera la superficie donde se proyectan el perfil del cubo, como se muestra en la Figura 18. Para esta operación es necesario observar las tres variables a tener en cuenta en esta operación; **1** la longitud de proyección que es necesaria para que el perfil se pueda proyectar en su totalidad; **2** el tipo de elemento de salida debe ser una superficie; **3** La dirección de la operación debe ser simétrica.

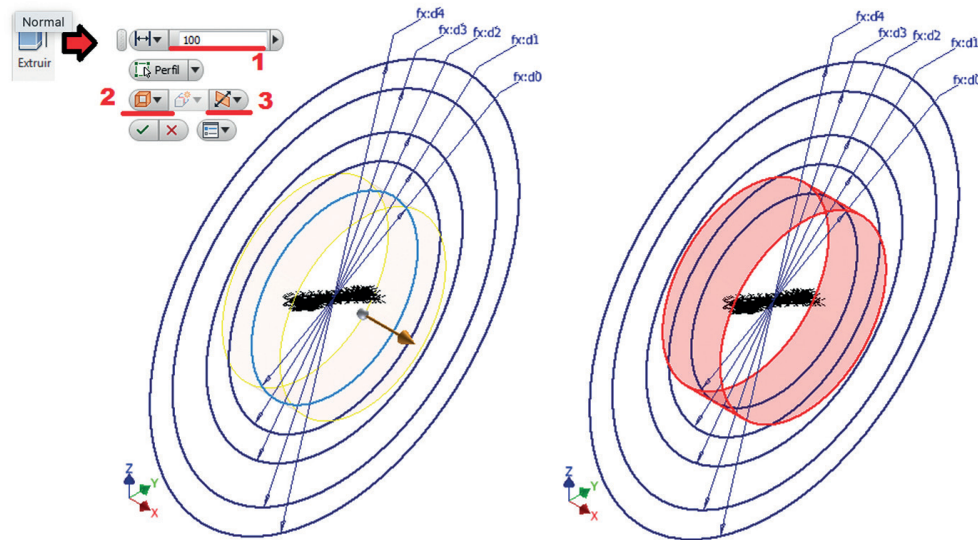


Figura 18. Extrusión de la superficie del cubo (d0)

Luego de generar la superficie del cubo el boceto de los diámetros desaparece, ya que, este boceto queda asociado a esta operación. Para continuar usando el mismo boceto se debe ir al navegador, expandir el árbol de la operación **superficie extruida** y se da **click derecho** para activar la visibilidad del boceto que está dentro de dicha operación (ver Figura 19)

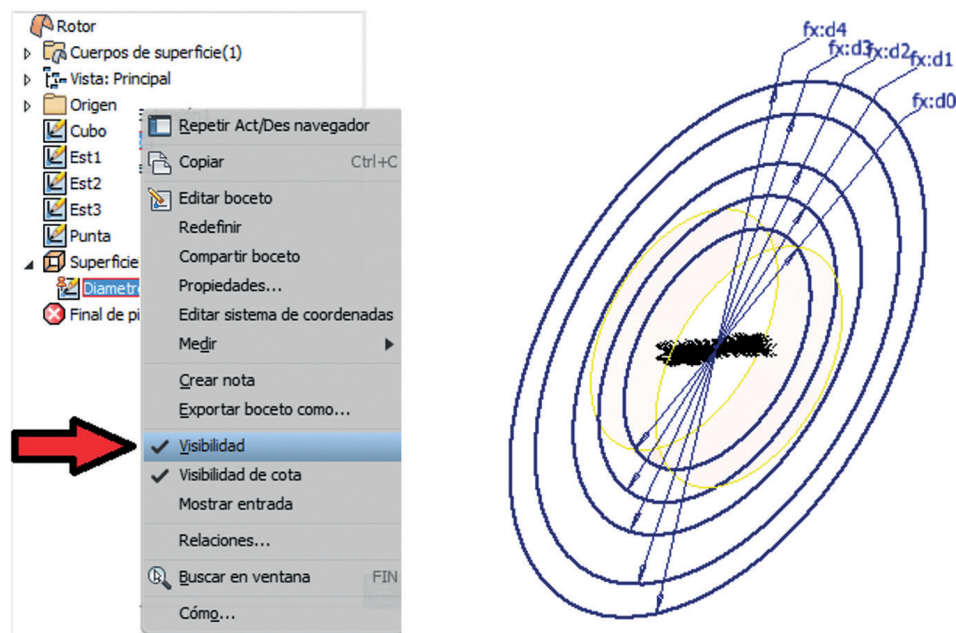


Figura 19. Activación del boceto que contiene los diámetros de los perfiles.

Luego de activar el boceto se deben generar las siguientes cuatro superficies d1, d2, d3, y d4, el resultado debe ser semejante al que se muestra en la Figura 20.

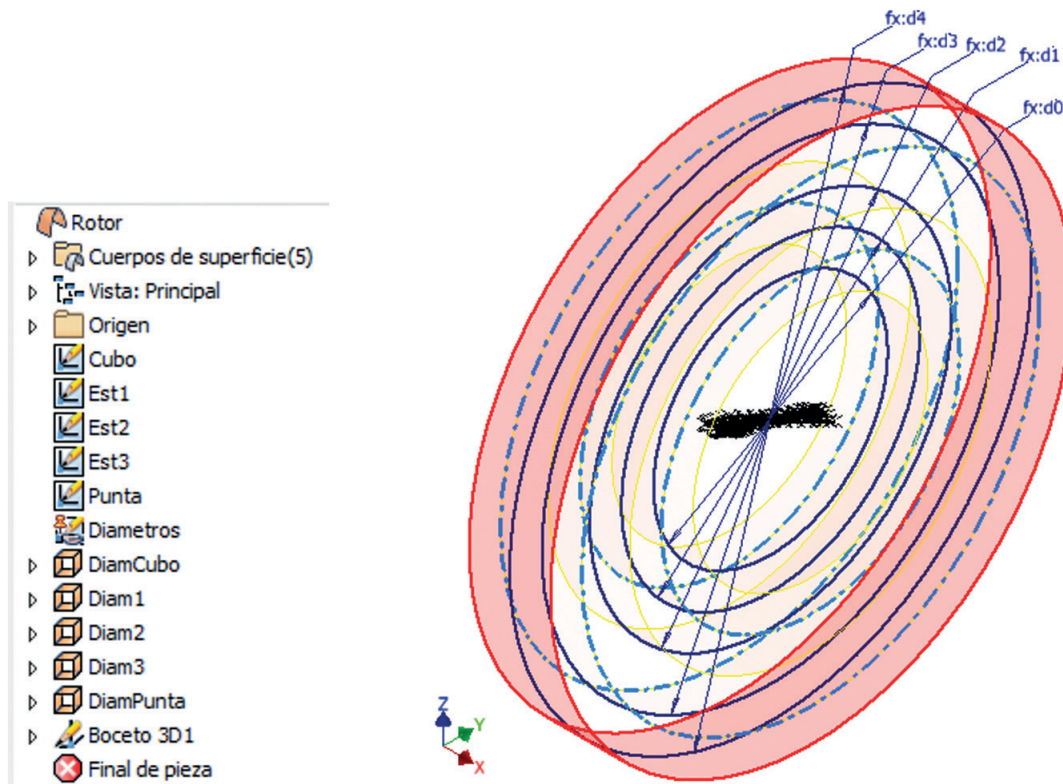


Figura 20. Superficies necesarias para proyectar los perfiles.

Ahora es necesario proyectar cada uno de los perfiles en cada superficie como se muestra a continuación, para el perfil del cubo y el diámetro del cubo (Figura 21). **Importante:** Cada perfil está integrado por dos elementos una *Spline* y una *línea* se deben proyectar los dos elementos y de ser necesario los puntos más externos del perfil (0% y 100%).

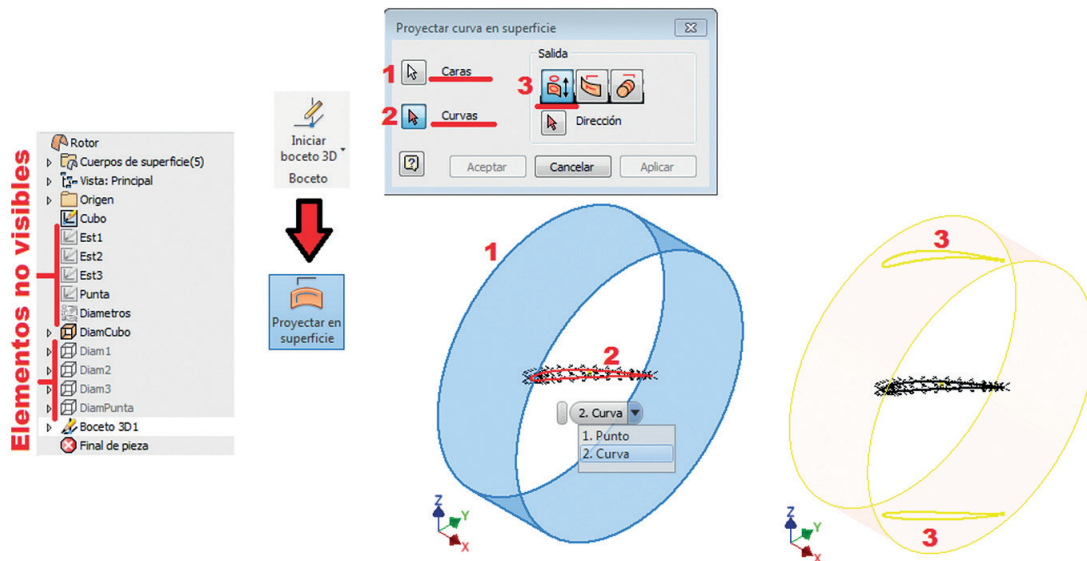


Figura 21. Pasos para proyectar el perfil (curva) del cubo en el diámetro (superficie) del cubo.

Luego de proyectar el perfil del aspa en la superficie del cubo se realiza el mismo procedimiento para las siguientes 4 estaciones, quedando la geometría que se muestra en la Figura 22.

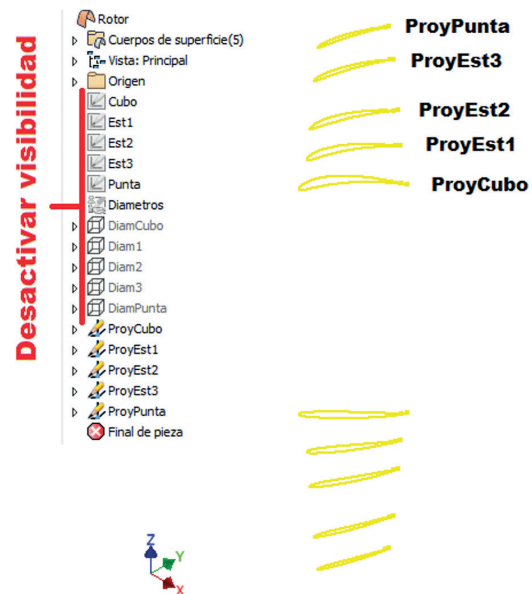


Figura 22. Proyecciones superiores e inferiores de los perfiles en sus respectivos diámetros

5. S elevación de los alabes y creación del rotor

Para las siguientes operaciones solo se usan las proyecciones del lado superior (marcadas en la Figura 16), las del lado inferior quedan al revés. Para generar un cuerpo solido se inicia con la construcción de superficies con los siguientes pasos (ver Figura 23):

- En la pestaña modelo 3D se selecciona la herramienta *solevación*
- En la ventana que se abre:
 1. Seleccionar la geometría de salida como superficie
 2. El método para generar la geometría son Railes
 3. Se agregan 5 espacios (secciones) para cada uno de los perfiles tridimensionales con los que se cuenta
 4. Se selecciona la primera ubicación y en el área de trabajo se selecciona el boceto ProyPunta
 5. Se selecciona la segunda ubicación y en el área de trabajo se selecciona el boceto ProyEst3
 6. Se selecciona la tercera ubicación y en el área de trabajo se selecciona el boceto ProyEst2
 7. Se selecciona la cuarta ubicación y en el área de trabajo se selecciona el boceto ProyEst1
 8. Se selecciona la quinta ubicación y en el área de trabajo se selecciona el boceto ProyCubo
 9. Se debe generar una superficie en color verde semejante a la presentada en la Figura 23 y se da click en aceptar

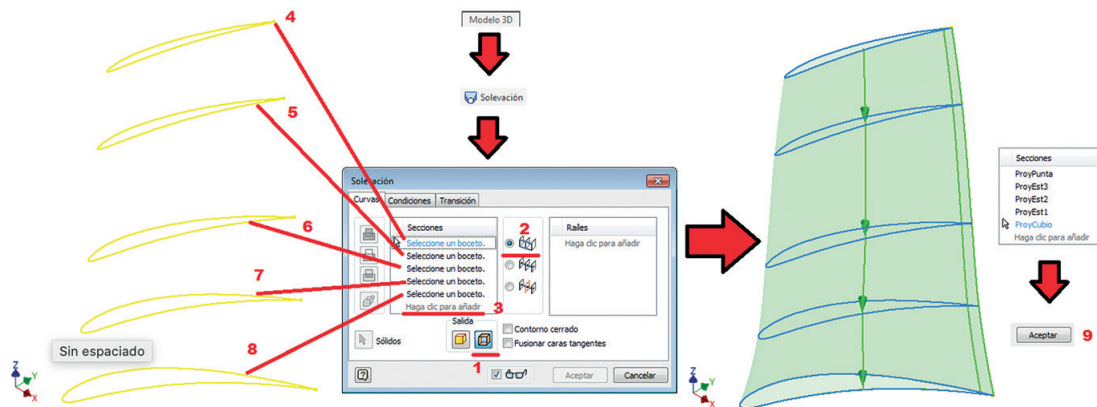


Figura 23. Pasos para generar las superficies del contorno del aspa del ventilador

Para generar un cuerpo sólido es necesario cerrar todas las caras del aspa, para tal fin se crea una superficie en la punta como se muestra en la Figura 24.

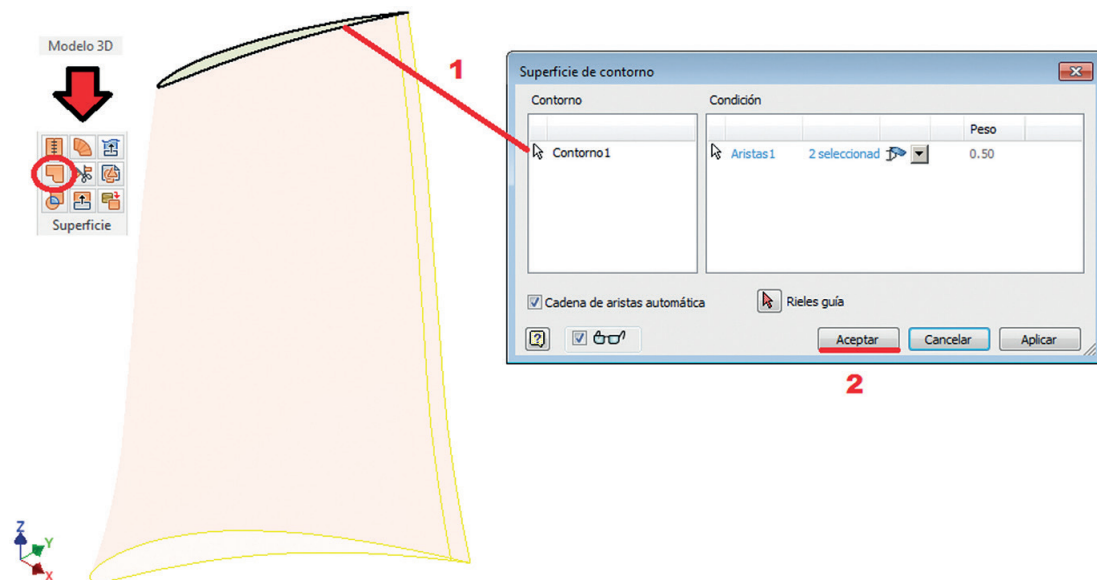


Figura 24. Generación de la superficie en la punta del aspa.

En el árbol de navegación se activa la superficie DiamCubo (ver Figura 25), posteriormente, se activa la herramienta *recortar superficie*, en la ventana emergente se selecciona como herramienta de corte la superficie que rodea el aspa, la sección a eliminar se selecciona la parte que esta interna del aspa y se da click en aceptar.

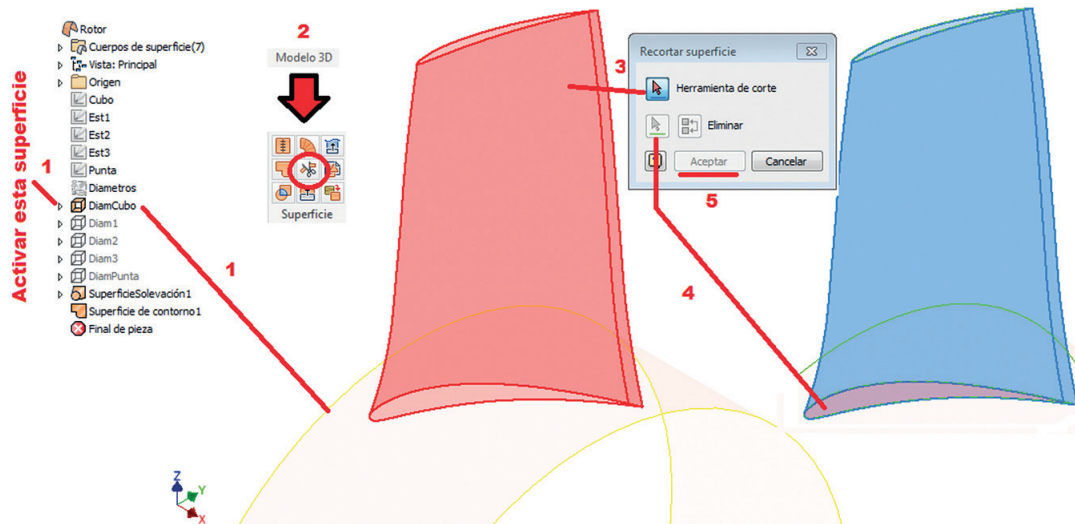


Figura 25. Recortar sección de la superficie del diámetro del cubo.

Hace falta generar las dos tapas del cilindro del cubo, se usa la herramienta superficie de contorno y se obtiene la geometría de la Figura 26.

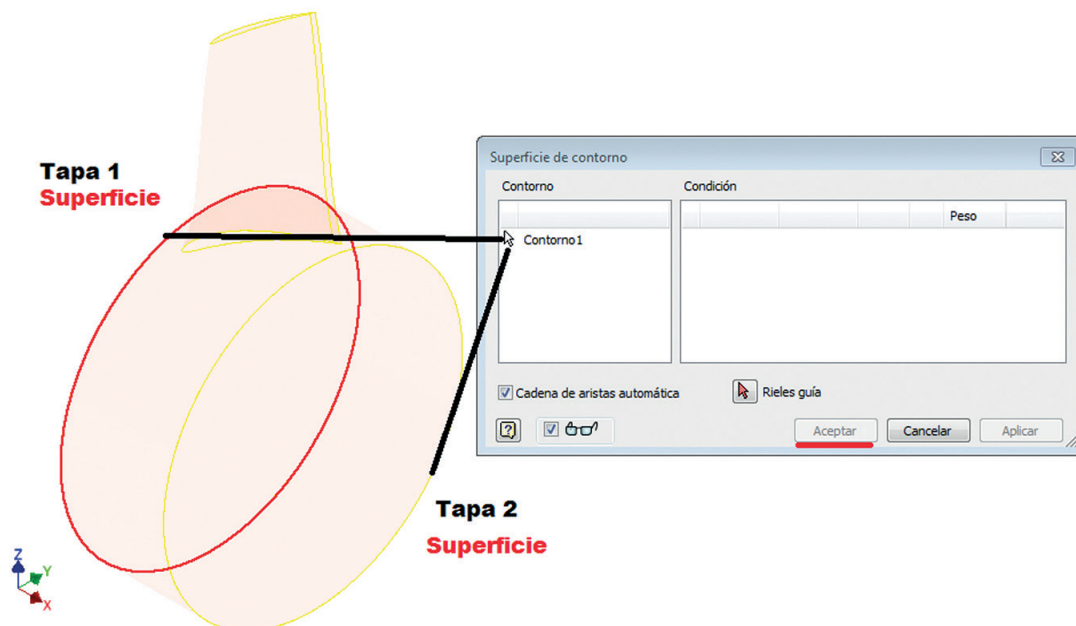


Figura 26. Procedimiento para generar las superficies que cierra el volumen del rotor.

Luego de cerrar el volumen con superficies se genera un sólido con el cubo y un aspa, el proceso se presenta en la Figura 27.

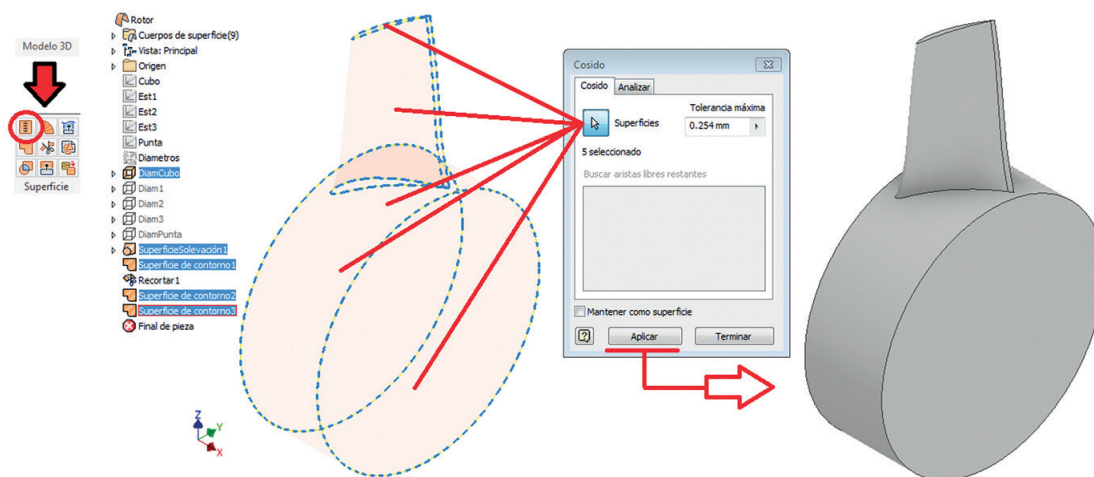


Figura 27. Proceso para coser las superficies y generar un sólido.

El siguiente paso es generar las diferentes aspas que se requieren para el rotor (ver Figura 28), la cantidad de aspas depende de los requerimientos, del estator y difusor.

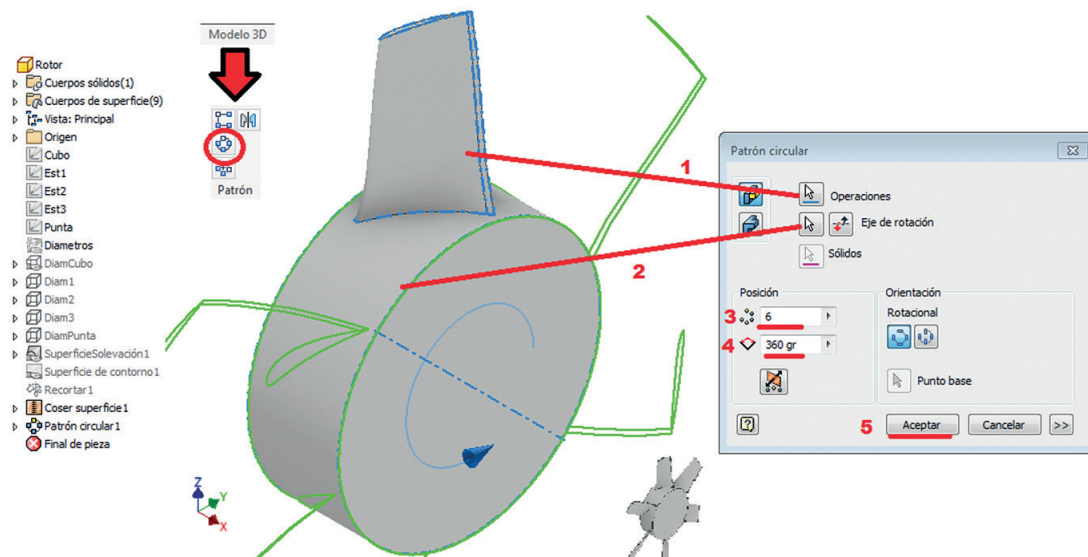


Figura 28. Pasos para generar la cantidad de aspas requeridas en el cubo.

El último paso son los detalles mecánicos, los redondeos, empalmes o chaflanes requeridos para resistencia mecánica o procesos de fabricación, también el diseño de la cavidad para ubicar los ejes, la ojiva, rodamientos y sistemas de transmisión de potencia.

Infografía

MSc. Carlos Andrés Aguirre Rodríguez

- Autodesk Knowledge Network. (18 de 2 de 2019). *Inventor*. Obtenido de Support & Learning: <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor>
- Autodesk, Inc. (2017). *CAD Innovation*. Obtenido de La innovación del CAD a lo largo de los años: <https://www.autodesk.es/campaigns/inspired-by-autocad/cad-innovation>
- Infiniti Research Limited. (Noviembre de 2016). *Technavio New*. Obtenido de Mercado global de CAD en la industria de maquinaria industrial 2016-2020: <https://www.technavio.com/report/global-product-lifecycle-management-global-cad-market-industrial-machinery-industry-2016-2020>
- Superintendencia Delegada para Energía y Gas Combustible. (2017). *Zonas no Interconectadas (ZNI) - Diagnóstico de la Prestación del Servicio de Energía Eléctrica 2017*. Bogotá.
- Universidad Santo Tomás Tunja. (2017). *Campus Virtual Cursos MOOC*. Recuperado el 10 de Mayo de 2021, de <https://campusvirtual.ustatunja.edu.co/moodle/login/index.php>



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
SECCIONAL TUNJA

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES 1732

MÓDULO

PARA LA GENERACIÓN DE GEOMETRÍAS DE ROTORES PARA MÁQUINAS HIDRÁULICAS AXIALES POR MEDIO DEL PROGRAMA INVENTOR

Facultad de Ingeniería Mecánica
MODALIDAD PRESENCIAL

MSc. Carlos Andrés Aguirre Rodríguez