



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE INGENIERIA
en acción continua...

PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

ALUMNO: Javier Ignacio LUCERO SCALZI

LEGAJO: 11709

CARRERA: Ingeniería Civil

PROYECTO: Análisis hidráulico de la cámara F39

EMPRESA O INSTITUCIÓN: IMPSA S.A.

TUTOR DE LA EMPRESA O INSTITUCIÓN: Ing. Nicolás Japaz

PERIODO DE PRÁCTICA: 07/02/2022-30/04/2022

AÑO: 2022

ÍNDICE

1-	Introducción	4
2-	Objetivos generales de las prácticas	4
3-	Descripción de la empresa	4
4-	Actividades y tareas realizadas	6
4-1.	Inducción a la empresa, al sector y proyecto en estudio	6
4-2.	Presentación y entrenamiento de los softwares ANSYS y Siemens NX....	6
4-3.	Análisis hidráulico de la cámara F39.....	7
4-3.1.	Primer análisis sin diagrama colinar	8
4-3.2.	Segundo análisis con diagrama colinar	12
4-3.3.	Corte por cero del diagrama de torque	19
4-3.4.	Conclusiones.....	21
4-3.5.	Análisis con otro distribuidor.....	24
4-4.	Análisis de fuerzas en junta compensadora.....	26
4-5.	Análisis estructural.....	29
4-5.1.	Geometría	29
4-5.2.	Mallado	29
4-5.3.	Condiciones iniciales.....	30
4-5.4.	Resultados	31
4-6.	Verificación final.....	33
5-	Conclusiones sobre aspectos profesionales y laborales	36
6-	Recomendaciones para futuras prácticas	36
7-	Comentarios personales	37
8-	Bibliografía de referencia	37
	ANEXO 1	38
	ANEXO 2.....	41
	Theta cámara sola.....	41
	Theta cámara con PRE	41
	Theta cámara con DISTRI	42
	Variación theta cámara sola vs PRE	42
	Variación theta PRE vs DISTRI	43
	ANEXO 3.....	43
	Theta apertura 16°	43
	Theta apertura 19.5°	44
	Theta apertura 22°	44
	Theta apertura 26°	45

Theta apertura 28°	45
ANEXO 4.....	46
Torque – 16°	46
Torque – 22°	47
Torque – 26°	48
Torque – 28°	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama de la empresa	5
Figura 2 Geometrías creadas en el entrenamiento con Siemens NX.....	7
Figura 3 Geometrías en NX.....	7
Figura 4 Mallado en ICEM	8
Figura 5 Cuadro de trabajo de ANSYS CFX	8
Figura 6 Ángulos de flujo en cámara sola	10
Figura 7 Ángulos de flujo en la entrada al pre	11
Figura 8 Ángulos de flujo en la salida del pre.....	11
Figura 9 Ángulos de flujo en la salida del distribuidor	12
Figura 10 Elementos y nodos de la malla	12
Figura 11 Variación de caudal y aperturas.....	13
Figura 12 Ángulos de flujo para apertura 16°	15
Figura 13 Distancias utilizadas para calcular el Torque Cerrado.....	16
Figura 14 Variación del T11 vs Apertura de distribuidor.....	16
Figura 15 Ángulos de flujo en la entrada al pre	17
Figura 16 Ángulos de flujo a la salida del predistribuidor	17
Figura 17 Ángulos de flujo a la salida del distribuidor	18
Figura 18 Variación de las velocidades de entrada y salida.....	18
Figura 19 Variación de las pérdidas	19
Figura 20 T11 vs Apertura para el caudal de 0,30 m3/s.....	20
Figura 21 T11 vs Apertura para el caudal de 0.35 m3/s.....	20
Figura 22 T11 vs Apertura para el caudal de 0.40 m3/s.....	21
Figura 23 T11 vs Apertura para el caudal de 0.45 m3/s.....	21
Figura 24 T11 vs Apertura para todos los caudales	22
Figura 25 T11 en función del caudal	22
Figura 26 Ángulos de flujo a la entrada del pre para apertura de 26°	23
Figura 27 Ángulos de flujo a la salida del pre para apertura de 26°	23
Figura 28 Ángulos de flujo a la salida del distri para apertura de 26°	23
Figura 29 Pérdidas para la apertura de 26°	24
Figura 30 Geometrías del distribuidor original (izq.) y el nuevo distribuidor (der.) ..	24
Figura 31 T11 vs Apertura para el nuevo distribuidor.....	25
Figura 32 T11 en función del caudal para el nuevo distribuidor	25
Figura 33 Sistema tanque-junta compensadora-cámara.....	26
Figura 34 Sistema de fuerzas en junta compensadora	27
Figura 35 Geometría 3-D para análisis estructural.....	29
Figura 36 Cuadro de trabajo de Static Structural	30
Figura 37 Mallado de la estructura en ANSYS	30
Figura 38 Fuerzas consideradas en el análisis	31
Figura 39 Apoyos del sistema.....	31

Figura 40 Tensiones en el predistribuidor	32
Figura 41 Deformaciones de la estructura	33
Figura 42 Cámara modificada con virolas desplazadas	34
Figura 43 Virolas modificadas en magenta desplazadas 15 mm hacia el centro y virolas originales en verde	34
Figura 44 Ángulos de flujo nuevo vs original - 16°	35
Figura 45 Ángulos de flujo nuevo vs original - 22°	35
Figura 46 Ángulos de flujo nuevo vs original - 26°	36

1- Introducción

El presente informe tiene como finalidad presentar el trabajo realizado por el alumno Javier Ignacio Lucero Scalzi en el marco de la asignatura “Práctica Profesional Supervisada”.

Dicho espacio curricular obligatorio se encuentra incluido en la última etapa del plan de estudios de la carrera de Ingeniería Civil (plan N° 03/2003-CS), brindándole al alumno la posibilidad de insertarse en un ámbito profesional real en el que deba confrontarse con problemáticas de su propia actividad.

La práctica se realizó en su totalidad en la empresa “Industrias Metalúrgicas Pescarmona Sociedad Anónima (IMPESA S.A.)” desde el día 07 de febrero hasta el día 30 de abril del 2022, acumulando un total de 300 horas. El proyecto realizado por el alumno fue el “Análisis hidráulico de la cámara F39”, el cual fue tutelado por el Ing. Nicolás Japaz.

Los objetivos propuestos por la empresa consisten en abordar un proceso de diseño de una cámara espiral de una turbina Francis, desarrollando geometrías y mallas con distintos softwares para luego realizar simulaciones con la metodología CFD (Computational Fluid Dynamics), analizando resultados para lograr optimizar y justificar los criterios de diseño de los distintos elementos de la cámara. Adicionalmente, se estudian las fuerzas que debe resistir el banco del laboratorio en el momento del ensayo.

A continuación, se realizará una descripción de la empresa, del puesto de trabajo ocupado, del proyecto en el que se trabajó, y de las tareas y actividades realizadas durante la pasantía, finalizando con algunos comentarios y conclusiones a los que se arribó.

2- Objetivos generales de las prácticas

La Práctica Profesional Supervisada es una instancia en la cual se busca que el alumno aplique los conocimientos y habilidades propios del ingeniero con la madurez que corresponde a un futuro egresado; demuestre capacidad para el análisis de problemas, formulación de alternativas, propuestas de resolución, organización y dirección de tareas profesionales aplicadas a la ingeniería; reconozca la trascendencia social de la profesión del ingeniero y la importancia de la inserción de la universidad en el medio; y participe de una actividad integradora de los conocimientos adquiridos durante el cursado de la carrera.

De esta manera, constituye un elemento de evaluación para la Facultad sobre los requerimientos profesionales del medio, incumbencias y habilidades específicas de los alumnos al egresar y frente a la actividad profesional real y aplicada.

3- Descripción de la empresa

IMPESA S.A. es una empresa local que brinda soluciones integrales para la generación de energía a partir de recursos renovables, equipos para la industria de procesos y la energía nuclear. Para cumplir estos objetivos, cuenta con las siguientes unidades de negocio: IMPESA Hydro, IMPESA Wind, IMPESA Energy e IMPESA Process.

Los orígenes de la empresa se remontan al año 1907 cuando Enrique M. Pescarmona fundó “Talleres Metalúrgicos Enrique Epaminondas Pescarmona” en la Provincia de Mendoza, donde se fabricaban repuestos de hierro fundido, equipos para la industria vitivinícola y compuertas para canales de irrigación.

En la actualidad, IMPSA constituye un motor de desarrollo para el mundo con nuevos productos y servicios de alto valor agregado y tecnología, siendo un impulsor del desarrollo nacional, regional y mundial. Sus esfuerzos se encuentran dirigidos a poder brindar mayores beneficios a la sociedad mediante sus productos, utilizando la innovación vinculada al desarrollo de proyectos de infraestructura para la producción de energía limpia a partir de fuentes renovables, fabricando los equipos necesarios para los procesos, y brindando los servicios logísticos para el movimiento de bienes e información.

La organización se reconoce fundada sobre ciertos valores que ordenan su desarrollo dentro de la comunidad global, destacándose: Creación, Innovación, Consciencia, Formación, Emprendedurismo, Dinamismo, entre otros.

Su estructura institucional se muestra en la siguiente figura en la que se observan las principales áreas de la empresa y sus correspondientes directores.

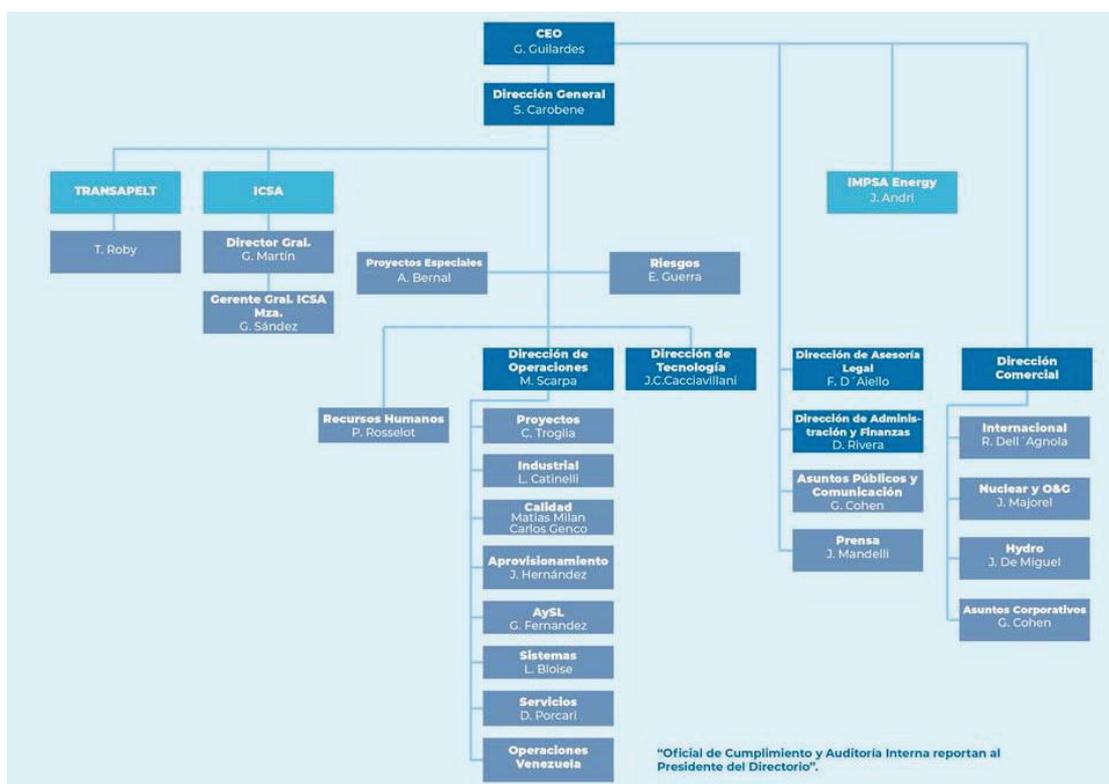


Figura 1 Organigrama de la empresa

Dentro de la unidad de negocio IMPSA Hydro, las pasantías se desarrollaron en el Centro de Investigaciones Tecnológicas (CIT). El mismo cuenta con especialistas, instalaciones, laboratorios y equipamiento necesarios para mantenerse a la vanguardia de la tecnología.

En el CIT se realizan distintos programas I+D en los siguientes campos: hidráulica, aerodinámica, dinámica de fluidos, análisis estructural, mecánica,

máquinas eléctricas, sistemas eléctricos, sistemas aislantes, tribología, transmisión de calor, mecatrónica, robótica, automatización y control, incluida la incorporación de inteligencia artificial en varios desarrollos.

El Laboratorio de Máquinas Hidráulicas, es uno de los más solicitados del mundo. Posee dos bancos de ensayos donde se realiza todo tipo de ensayos en modelos de máquinas y equipos hidráulicos.

Los bancos universales sirven para medir potencia, eficiencia, comportamiento a cavitación, pulsaciones de presión, velocidades de disparo, así como cargas hidráulicas sobre las partes estacionarias y rotantes en los modelos fabricados a escala. Los parámetros así obtenidos se transponen a la máquina real recurriendo a las Leyes de Semejanza geométrica e hidráulica en las que se basan este tipo de estudio. De éste modo las garantías de performance otorgadas a nuestros clientes se pueden verificar y, además, se puede anticipar el comportamiento de las unidades con un alto grado de confiabilidad.

4- Actividades y tareas realizadas

El desarrollo de las prácticas profesionales en IMPESA estuvo estructurado en 5 bloques principales:

1. Inducción a la empresa, al sector y al proyecto en estudio.
2. Presentación y entrenamiento de los softwares ANSYS y Siemens NX.
3. Análisis hidráulico de la cámara F39.
4. Análisis de fuerzas en junta compensadora
5. Análisis estructural de la cámara F39.

4-1. Inducción a la empresa, al sector y proyecto en estudio

El proceso de inducción a IMPESA estuvo compuesto por:

- Presentación de la empresa por parte de un representante del área de Recursos Humanos y proyección del video institucional de la empresa.
- Presentación y evaluación sobre normas de ambiente y seguridad laboral haciendo especial foco en los procedimientos de emergencia, teléfonos de utilidad, zonas de seguridad, etc., a tener en caso de un imprevisto.
- Presentación y evaluación sobre estándares y normas de calidad que maneja la compañía.
- Visita a la planta, laboratorios y módulos de oficinas.
- Reunión con mi tutor para acordar los alcances, objetivos y actividades a desarrollar durante el período de prácticas. Instrucción en el uso de la estación de trabajo, inicio de sesión, uso de correo electrónico, teléfonos internos, intranet, etc.
- Descripción del proyecto en estudio

4-2. Presentación y entrenamiento de los softwares ANSYS y Siemens NX.

ANSYS es un software de simulación ingenieril, desarrollado para funcionar bajo la teoría de elementos finitos para estructuras y volúmenes finitos para fluidos, con el objetivo de analizar y predecir cómo funcionará y reaccionará determinado

producto bajo un entorno real. Está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador, procesador y post-procesador.

Siemens NX es un software tipo CAD que permite desarrollar geometrías complejas en 2-D y 3-D de manera sencilla.

El entrenamiento en este software consistió en la realización de tutoriales y guías que permiten al usuario comprender el funcionamiento de las distintas herramientas del programa. En las siguientes figuras se ven algunos de los ejercicios realizados en NX en el proceso de aprendizaje.

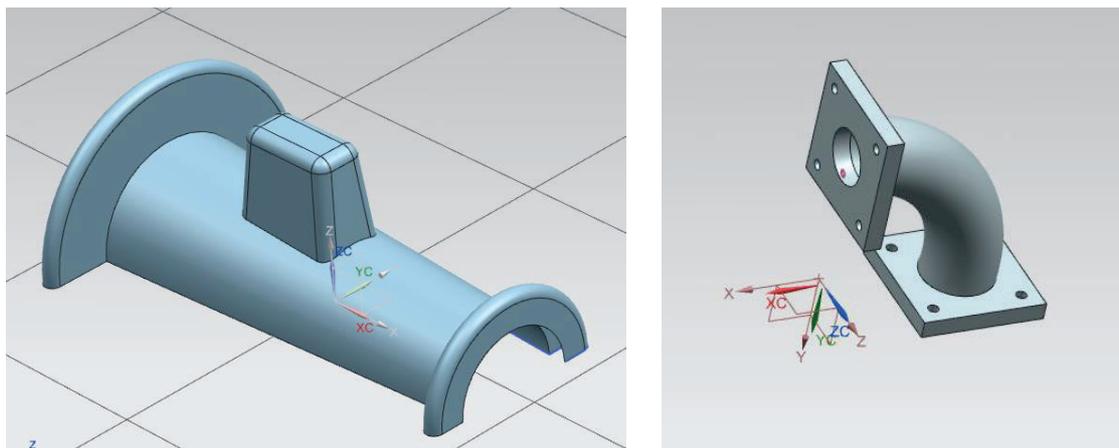


Figura 2 Geometrías creadas en el entrenamiento con Siemens NX

4-3. Análisis hidráulico de la cámara F39

Se analizan los ángulos de entrada y salida del fluido, tanto del pre distribuidor como del distribuidor de la cámara espiral de una turbina Francis del proyecto Los Blancos I. Para esto se realizan las distintas geometrías con su mallado correspondiente para luego ser analizado con CFD.

Las geometrías en 3D de todos los componentes se generan mediante el programa de CAD NX 8.5, provisto por Siemens PLM.

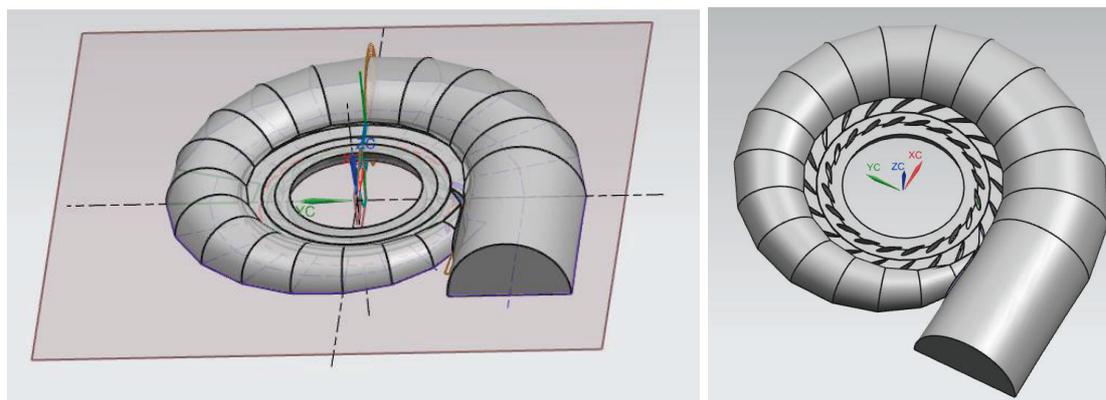


Figura 3 Geometrías en NX

Para el mallado se utiliza ANSYS ICEM-CFD, este programa captura la geometría a estudiar y prepara las mallas para su posterior resolución por métodos numéricos. Las mallas pueden ser estructuradas (elementos hexaédricos) o no estructuradas (elementos tetraédricos, piramidales y prismáticos).

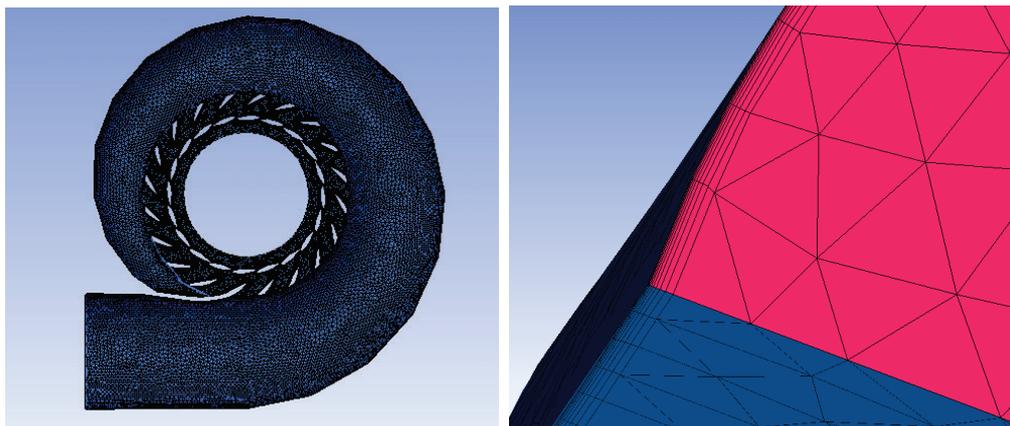


Figura 4 Mallado en ICEM

Para el pre-proceso, proceso y el posterior análisis de resultados se utiliza ANSYS CFX, este programa resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes, promediadas por el método de Reynolds, comúnmente llamadas RANS (Reynolds Average Navier Stokes equations). Utilizan un método de volúmenes finitos basado en elementos finitos, desarrollado por Advanced Scientific Computing, en Waterloo, Canada.

Este software se puede aplicar para problemas estacionarios o transitorios, flujos compresible o incompresible, laminar o turbulento.

En el pre-proceso se establecen las condiciones de borde del modelo, fluido a utilizar (agua en nuestro caso), las condiciones del solver y las expresiones iniciales como caudal, salto y densidad.

En el post-proceso se realiza el análisis de los resultados del modelo con distintas herramientas que provee el programa que nos permite visualizar campos de presiones, de velocidades, líneas de flujo y fuerzas. El programa permite incorporarle distintos scripts para analizar torques y ángulos de flujo, entre otras cosas. En el ANEXO 1 se adjuntan imágenes ilustrativas del post proceso.

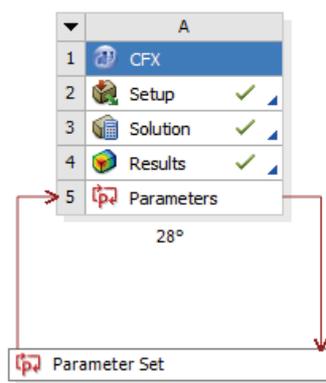


Figura 5 Cuadro de trabajo de ANSYS CFX

4-3.1. Primer análisis sin diagrama colinar

Se analiza la cámara con distintos elementos, primero una cámara espiral sin predistribuidor y sin distribuidor, segundo la misma cámara con predistribuidor y finalmente esa misma geometría con un distribuidor con cierta apertura.

El objetivo de este trabajo es observar como varían los ángulos de flujo a medida que se le incorporan elementos a la cámara.

Se emplea un salto “H” de 20 m.c.a. y un caudal “Q” de 0.6 m³/s.

4-3.1.1. Cámara espiral sola

La cantidad de nodos y elementos de las mallas va aumentando a medida que el modelo se complejiza. En primer lugar se analiza la cámara espiral sola sin predistribuidor ni distribuidor. Se analizan las pérdidas de presión haciendo la diferencia entre la entrada y la salida.

$$Pérdidas = \frac{\Delta(\text{Total Pressure})}{\rho * g * H} * 100$$

$$Pérdidas = 2.21\%$$

La fuerza que se analiza es la fuerza en dirección X, ya que esta será la que se utilizará para el diseño de la junta compensadora del banco de ensayo.

X	5.46	KN
Y	-0.09	KN
Z	66.68	KN

Se analizan la presión total (estática + dinámica) y la presión estática en la superficie de simetría.

Total Pressure	82687	Pa
Static Pressure	91235	Pa

Las velocidades a la entrada y a la salida son:

IN	5.17	m/s
OUT	12.58	m/s

A la hora de analizar las distintas direcciones de flujo se deben crear superficies de revolución en el modelo. Estas superficies se crean a la entrada del PRE, a la salida del Pre, a la entrada del DISTRI y a la salida del DISTRI. Por razones prácticas se realiza una superficie intermedia entre la salida del pre y la entrada del distri.

Una vez creadas las superficies se debe calcular los valores de la velocidad radial y la velocidad circunferencial para poder calcular el ángulo de flujo. Dentro del post proceso se debe activar la función TURBO para poder calcular estos valores.

Se presenta un resumen de los valores promedio en estas superficies y en el anexo se encuentran los valores correspondientes a cada pre distribuidor y a cada distribuidor.

Promedio	Theta
EntraPre	27.9831
SalePre	29.8864
EntraDistri	29.8864
SaleDistri	30.1025

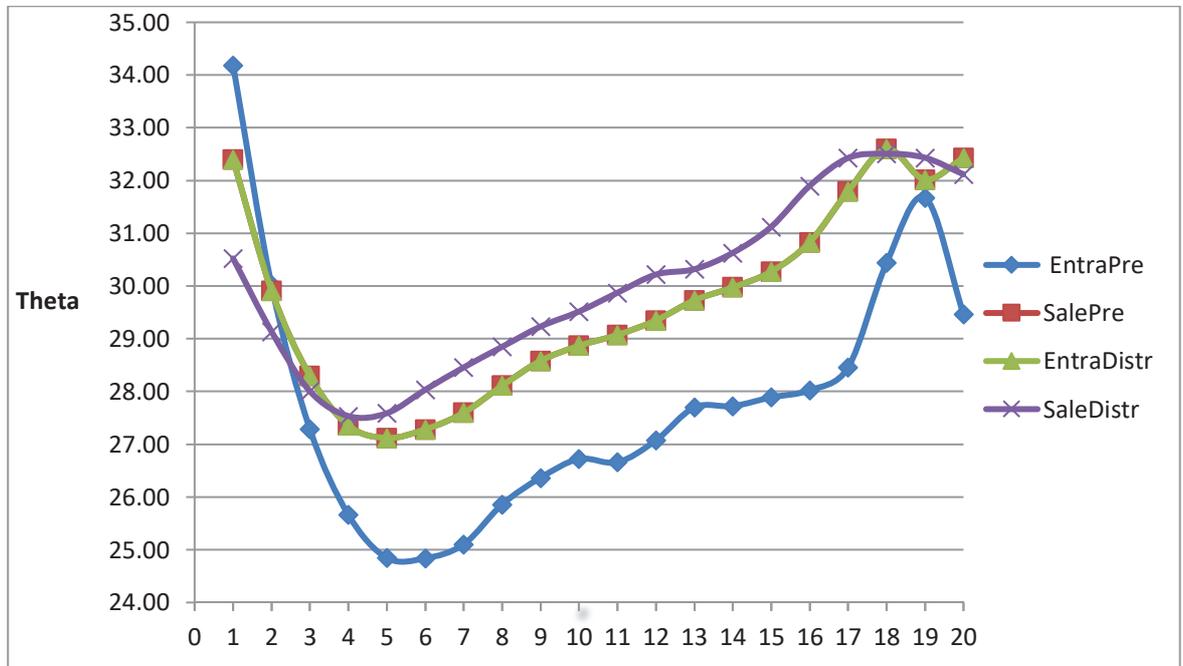


Figura 6 Ángulos de flujo en cámara sola

Se realiza el mismo análisis con la cámara con predistribuidor y con la cámara con predistribuidor y distribuidor en una apertura de 26°. Luego de haber realizado esos análisis se pueden comparar y observar como varían los ángulos de flujo en cada caso.

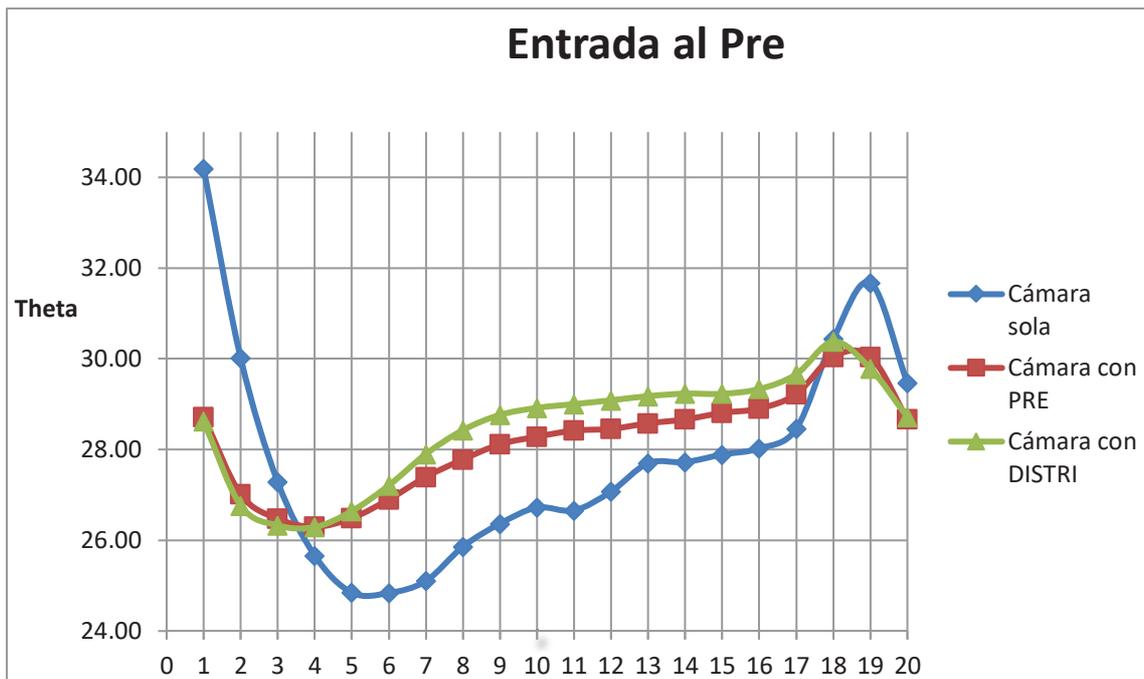


Figura 7 Ángulos de flujo en la entrada al pre

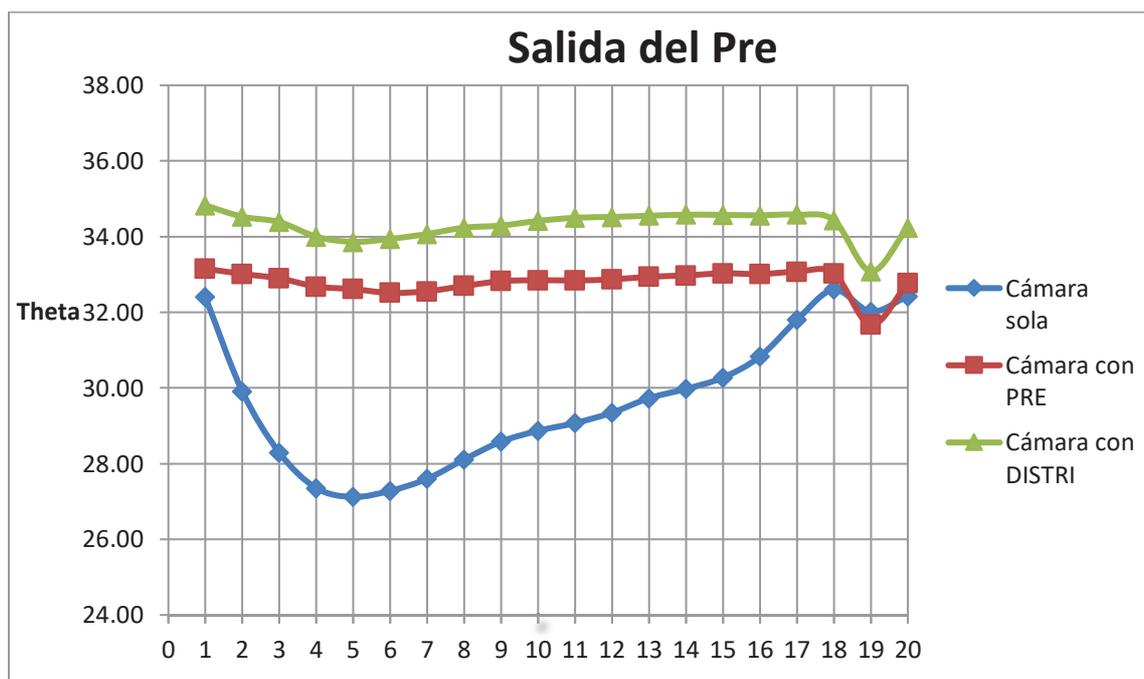


Figura 8 Ángulos de flujo en la salida del pre

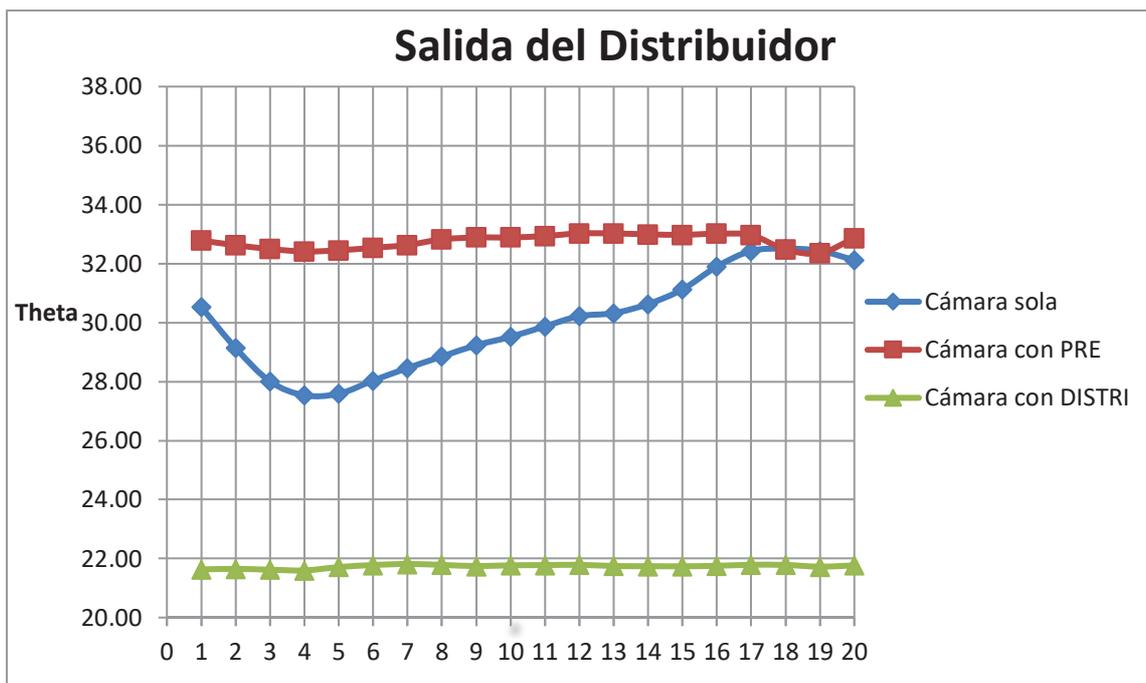


Figura 9 Ángulos de flujo en la salida del distribuidor

Se puede observar que a incorporar el predistribuidor se uniformizan los ángulos de flujo y al incorporar el distribuidor este efecto se acentúa aún más.

En cuanto al número de elementos y nodos de las mallas, se puede observar en la siguiente figura, como aumentan los mismos a medida que el modelo se complejiza.

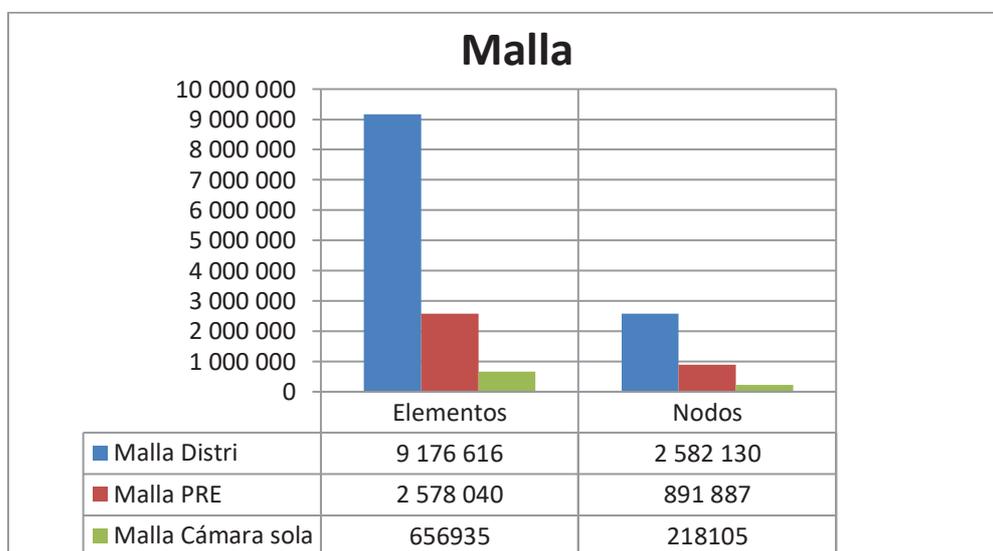


Figura 10 Elementos y nodos de la malla

En el ANEXO 2 se encuentra el detalle de los valores de cada análisis.

4-3.2. Segundo análisis con diagrama colinar

Luego del primer análisis se procede a utilizar el diagrama colinar de la cámara F39, ensayada previamente, para analizar distintos caudales correspondientes a distintas aperturas del distribuidor.

Teniendo en cuenta la velocidad unitaria $n_{11}=51$, para las distintas aperturas se debe encontrar los caudales unitarios q_{11} correspondientes para eso se trazan rectas desde la intersección de la n_{11} y las aperturas para encontrar el caudal.

$$q_{11} = \frac{Q}{D^2 * \sqrt{H}} \quad n_{11} = \frac{n[\text{rpm}] * D}{\sqrt{H}}$$

Así obtenemos:

Apertura [°]	Q11	Caudal [m3/s]
16°	0.498	0.289
19.5°	0.596	0.345
22°	0.66	0.383
26°	0.752	0.435
28°	0.79	0.458

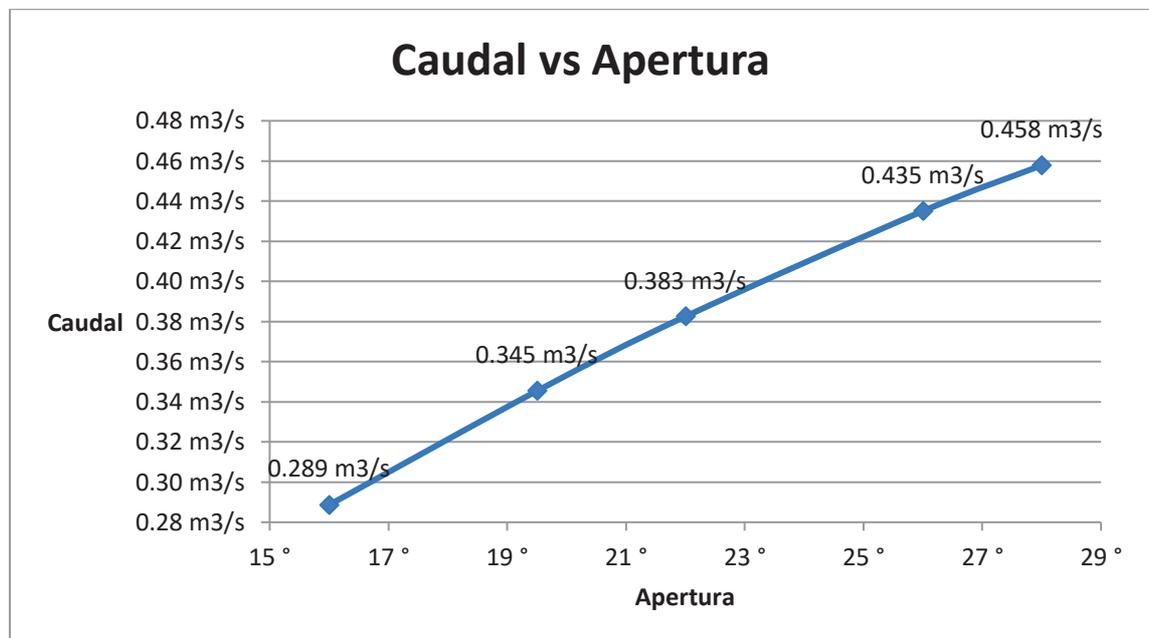


Figura 11 Variación de caudal y aperturas

Ahora se procede a ejecutar el mismo análisis realizado anteriormente pero para cada apertura en particular. Se incluye en el informe los datos obtenidos para la apertura 16°, el resto de los resultados se encuentran en el ANEXO 3.

4-3.2.1. Apertura 16° - Q=0.2886 m3/s

Datos de la malla:

Malla PRE	
Elementos	8,302,835
Nodos	2,636,333

Dentro del análisis de las pérdidas se puede observar que porcentaje se lleva el PRE y que porcentaje el DISTRI. Para ello se analizan las pérdidas tanto a la entrada y la salida como en las superficies creadas.

Pérdidas=	2.71%
Pérdidas (PRE)=	0.20%
Pérdidas (DISTRI)=	2.32%

Las fuerzas en la cámara:

X	6.11	KN
Y	0.00	KN
Z	113.36	KN

Las presiones en la simetría:

Total Pressure	101118	Pa
Static Pressure	99045	Pa

Las velocidades a la entrada y salida:

IN	2.48	m/s
OUT	13.91	m/s

Theta promedio:

Promedio	Theta
EntraPre	35.6849
SalePre	37.7389
EntraDistri	37.7389
SaleDistri	14.2559

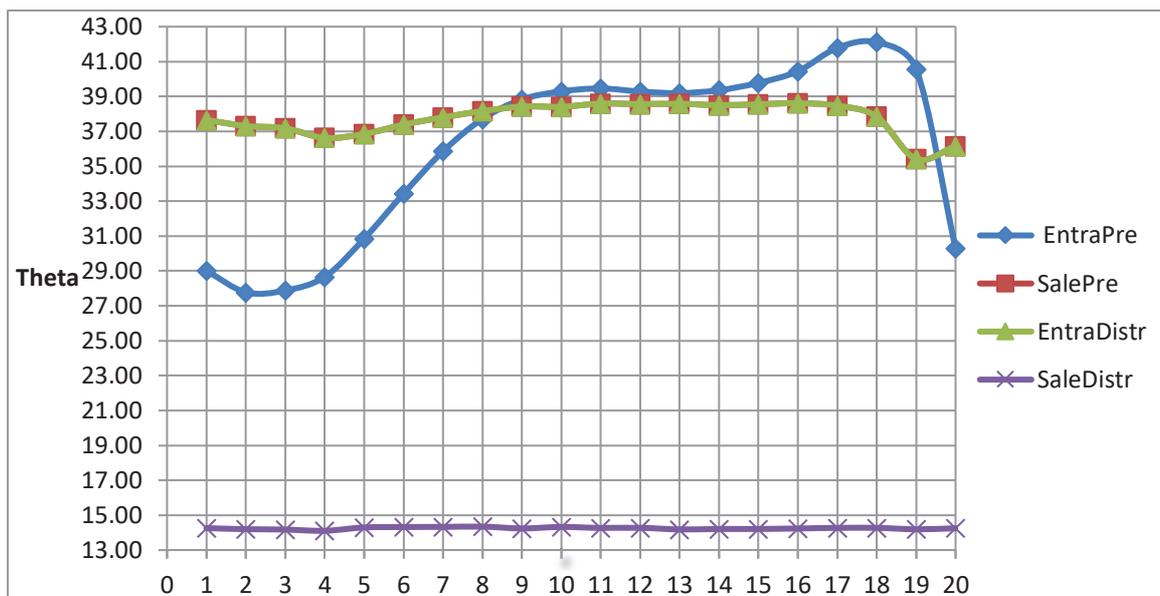


Figura 12 Ángulos de flujo para apertura 16°

4-3.2.2. Análisis de torque

El torque z resulta de integrar la distribución de presiones sobre el álabe del distribuidor y luego hacer el producto vectorial de cada elemento sobre su distancia con respecto al punto de giro.

En el Post CFD de Ansys primero se deben cargar puntos coordenados en el centro de cada álabe para poder analizar el torque en ese punto, se utiliza la expresión “2*torque_z_Coord01()@DISTRIO1” para calcular cada torque en su respectivo álabe.

Una vez calculados todos los torques correspondientes se debe calcular un nuevo valor T11 que servirá para el análisis. El mismo se calcula como:

$$T_{11} = \frac{\text{Torque}}{D^3 * H}$$

Este procedimiento se realiza para las distintas aperturas, se toman los T11 promedio de cada análisis y se conforma un gráfico T11 vs apertura. De este gráfico se obtiene el corte por cero que es el punto donde la línea de tendencia marca el T11=0 para cierto distribuidor.

Además se debe calcular el torque de cierre para el cual la apertura es 0°, para ello se realizan los siguientes cálculos:

$$T_{\text{cerrado}} = (\rho g H_{\text{Bruto_Max}}) (b_0 X_{EA}) \frac{X_{EA}}{2} - (\rho g H_{\text{Bruto_Max}}) (b_0 X_{BF}) \frac{X_{BF}}{2}$$

$$T_{\text{cerrado}} = \frac{(X_{EA}^2 - X_{BF}^2)}{2} \cdot b_0 \cdot \rho \cdot g \cdot H_{\text{Bruto_Max}}$$

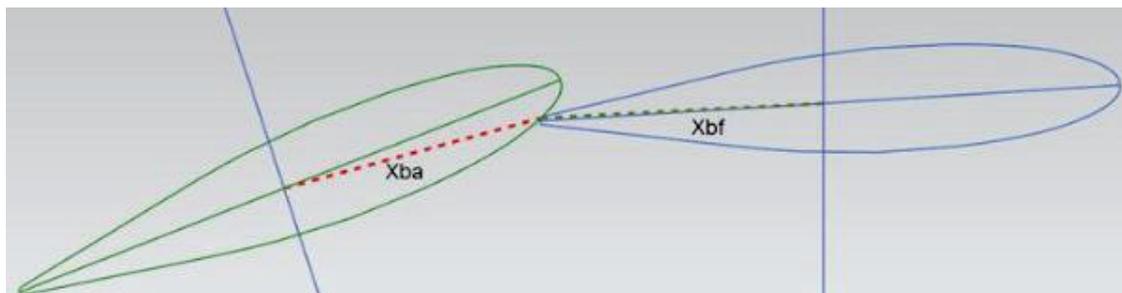


Figura 13 Distancias utilizadas para calcular el Torque Cerrado

Donde $H_{bruto} = (\text{Nivel de embalse} - \text{Nivel de restitución}) [\text{msnm}]$

bo [m]	0.0738
Xba [m]	0.038812
Xbf [m]	0.040678
Hmáx [m]	20
Rho [kg/m ³]	997
g [m/s ²]	9.7919
Tcerrado [Nm]	-1.06873
T11cerr=	-1.14533

Se obtiene el siguiente gráfico:

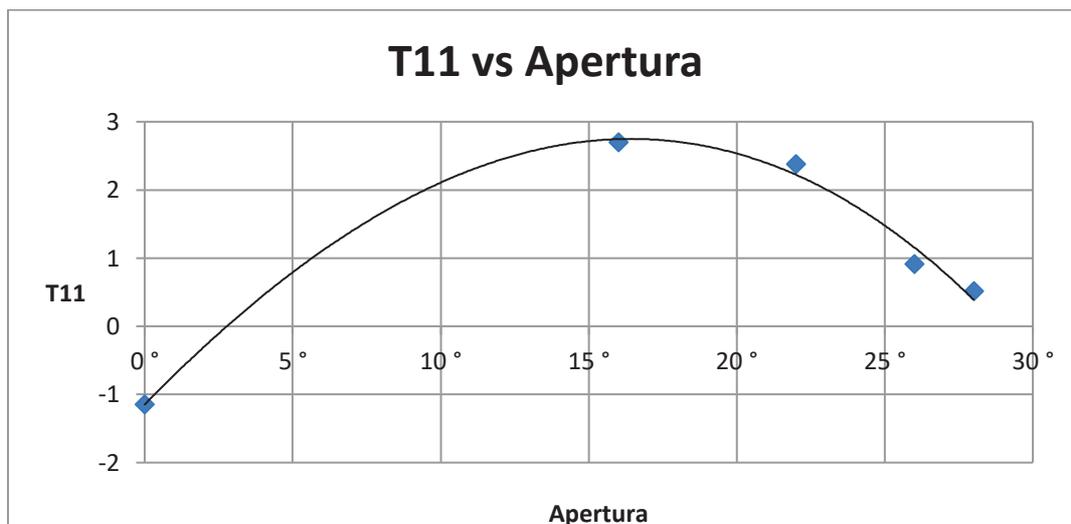


Figura 14 Variación del T11 vs Apertura de distribuidor

En el ANEXO 4 se encuentran los distintos valores de torque y T11 obtenidos para las distintas aperturas y caudales.

Debido a que existió un problema en la apertura 19,5° se decidió analizar una apertura 0,5° mayor para ver si se corregía esa tendencia en el diagrama.

Es importante aclarar que el corte por cero de la gráfica es independiente del caudal, es decir, se mantiene constante sin importar el caudal que pase. Para comprobar esto se realizará un tercer análisis en donde se correrán los distintos modelos con varios caudales para verificar este concepto. Se comparan las distintas aperturas en los siguientes incisos.

4-3.2.3. Ángulos de flujo

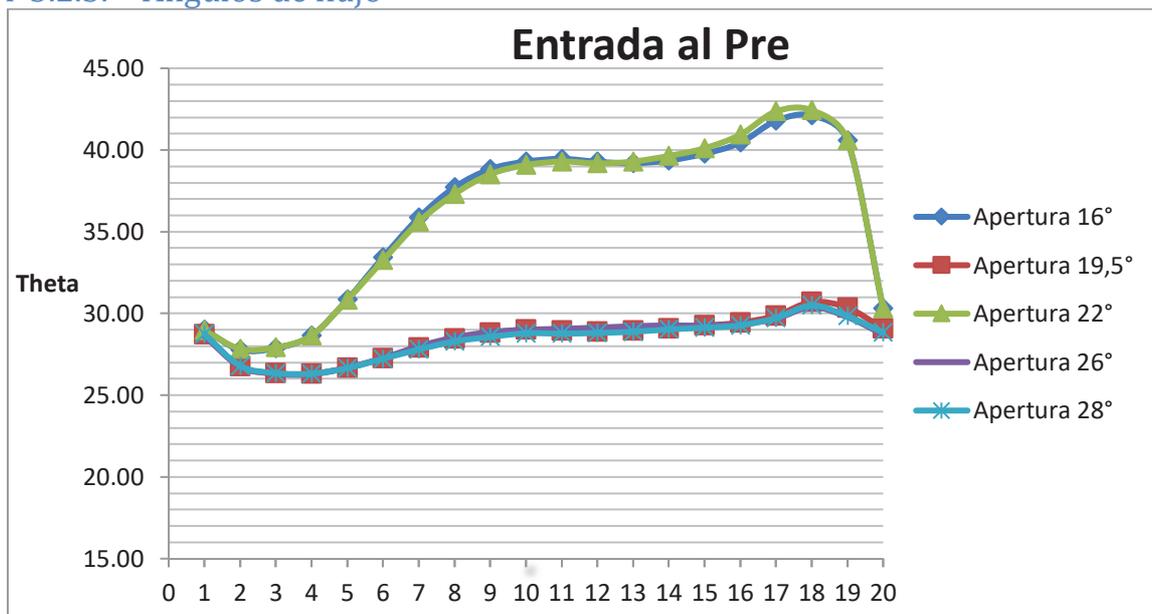


Figura 15 Ángulos de flujo en la entrada al pre

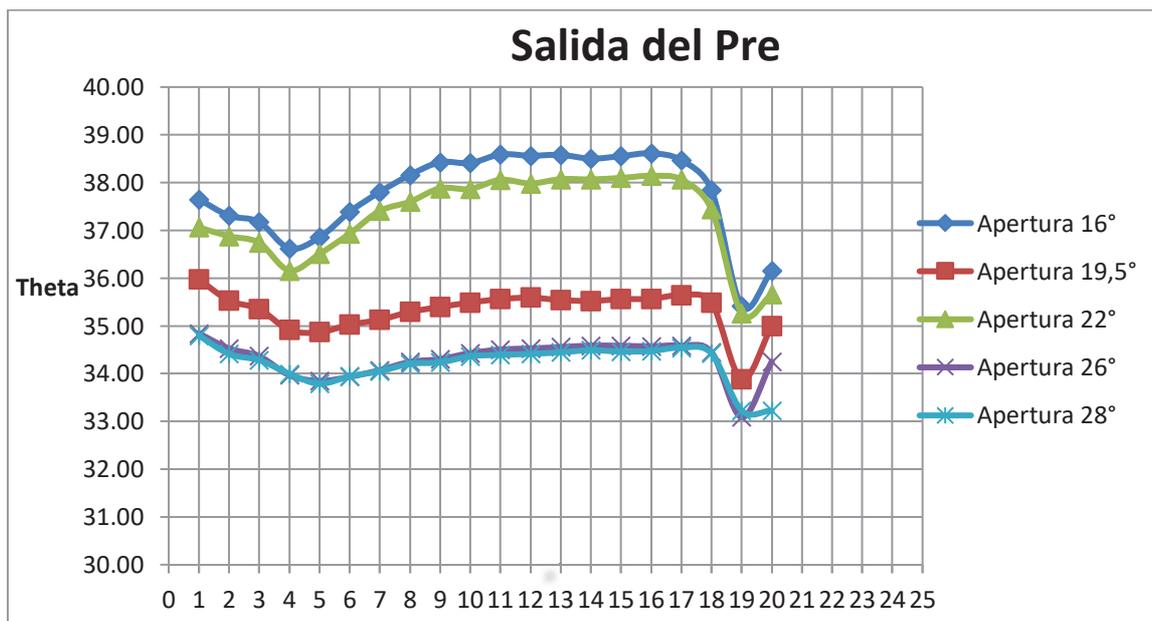


Figura 16 Ángulos de flujo a la salida del predistribuidor

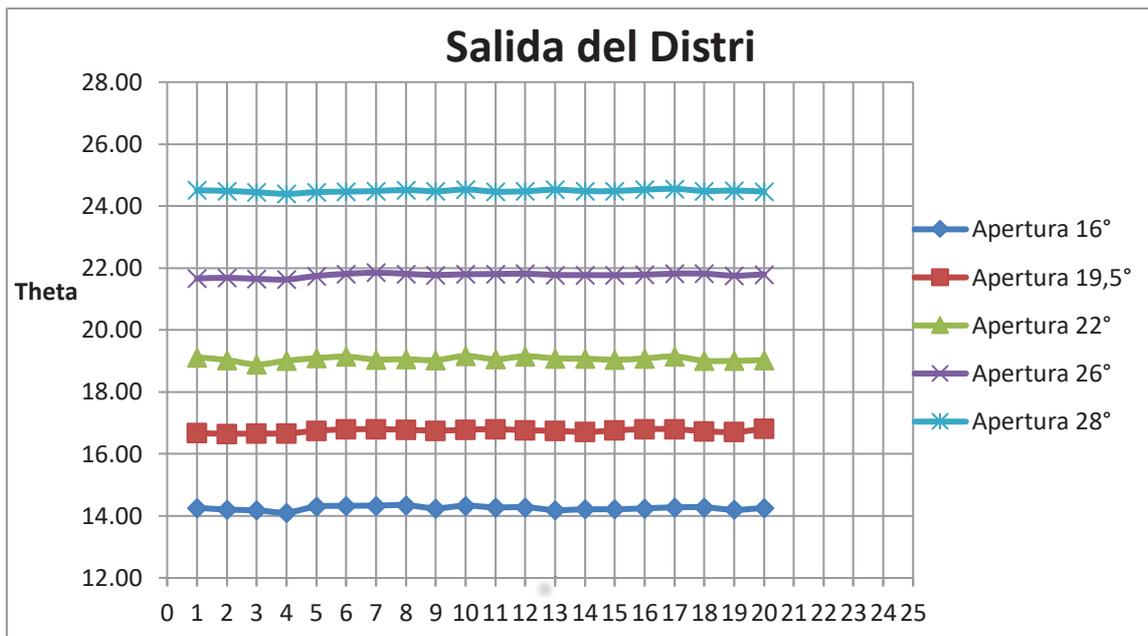


Figura 17 Ángulos de flujo a la salida del distribuidor

4-3.2.4. Velocidades de entrada y salida

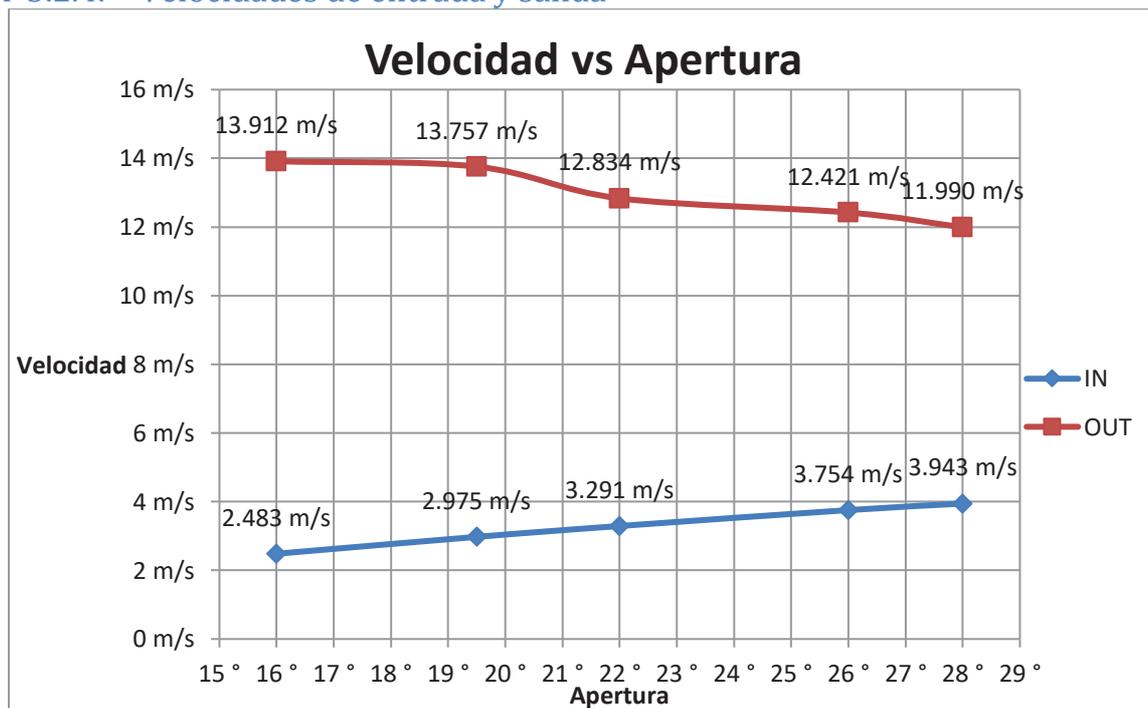


Figura 18 Variación de las velocidades de entrada y salida

4-3.2.5. Pérdidas

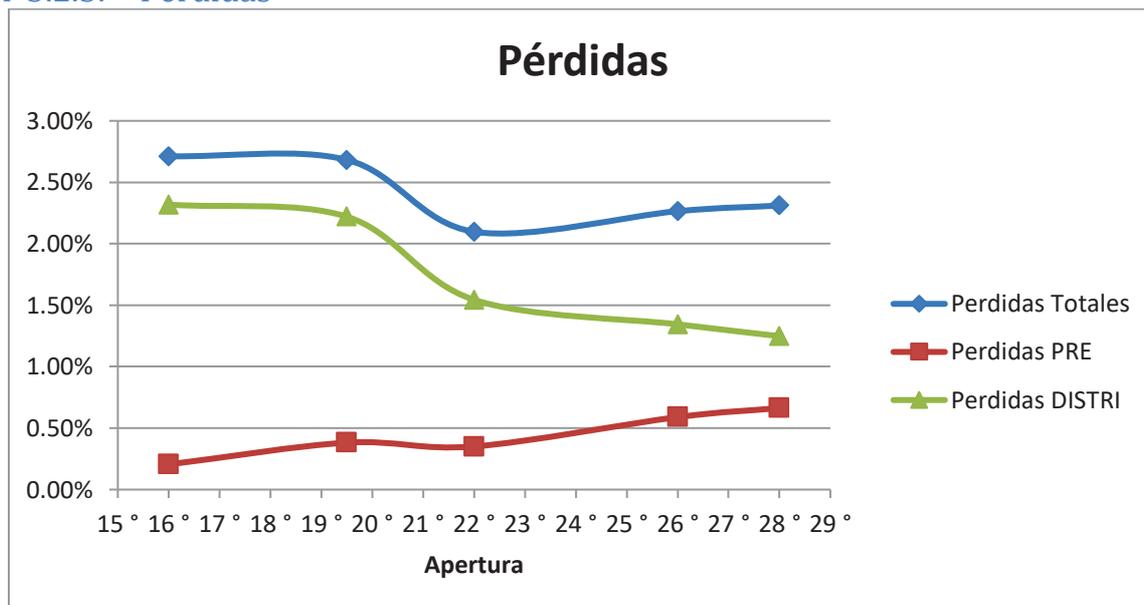


Figura 19 Variación de las pérdidas

4-3.3. Corte por cero del diagrama de torque

El torque cero calculado previamente en el análisis con diagrama colinar debe permanecer constante independiente del caudal que circule. Para verificar esto, se procede a correr los modelos con distintos caudales. Los caudales a analizar son:

Q1=0.30 m ³ /s
Q2=0.35 m ³ /s
Q3=0.40 m ³ /s
Q4= 0.45 m ³ /s

A la hora del análisis con ANSYS se realizó una parametrización del caudal en el preprocesador para que el programa realice las corridas en serie analizando los distintos caudales. También se parametrizaron los valores de torque para cada distribuidor de manera de obtener los resultados en el Workbench sin necesidad de ingresar al Post.

Para realizar esto se genera un script para cada apertura que permite correr los modelos en serie para los distintos caudales. Además se realizó un script para que el programa genere una tabla con los valores requeridos para luego copiar los mismos en un archivo Excel y analizarlos.

4-3.3.1. $Q_1=0.30 \text{ m}^3/\text{s}$

Para este caudal se obtiene el siguiente gráfico de torque:

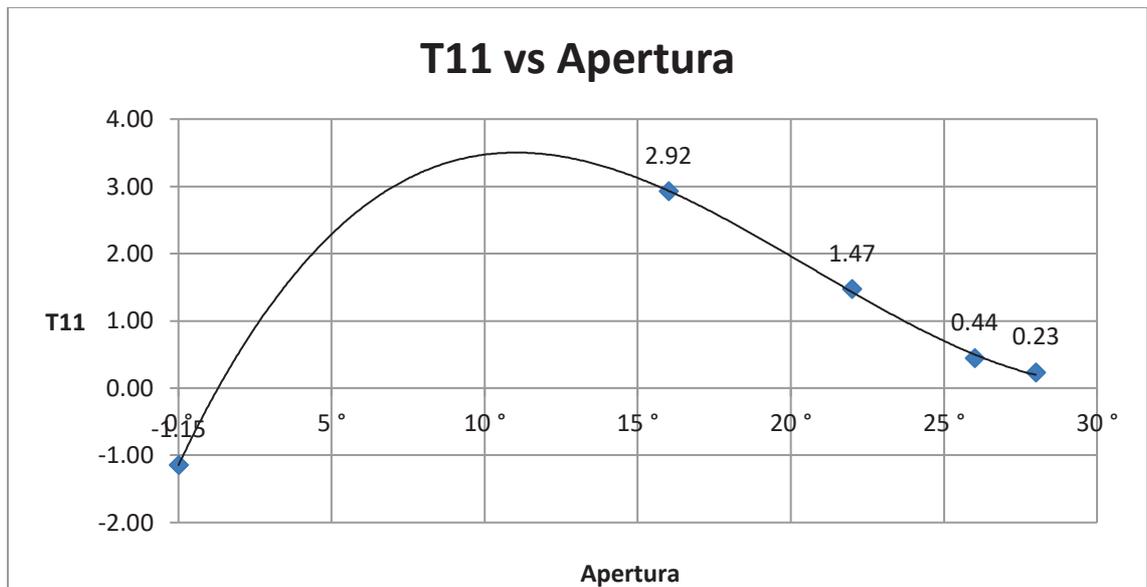


Figura 20 T11 vs Apertura para el caudal de 0,30 m³/s

4-3.3.2. $Q_1=0.35 \text{ m}^3/\text{s}$

Para este caudal se obtiene el siguiente gráfico de torque:

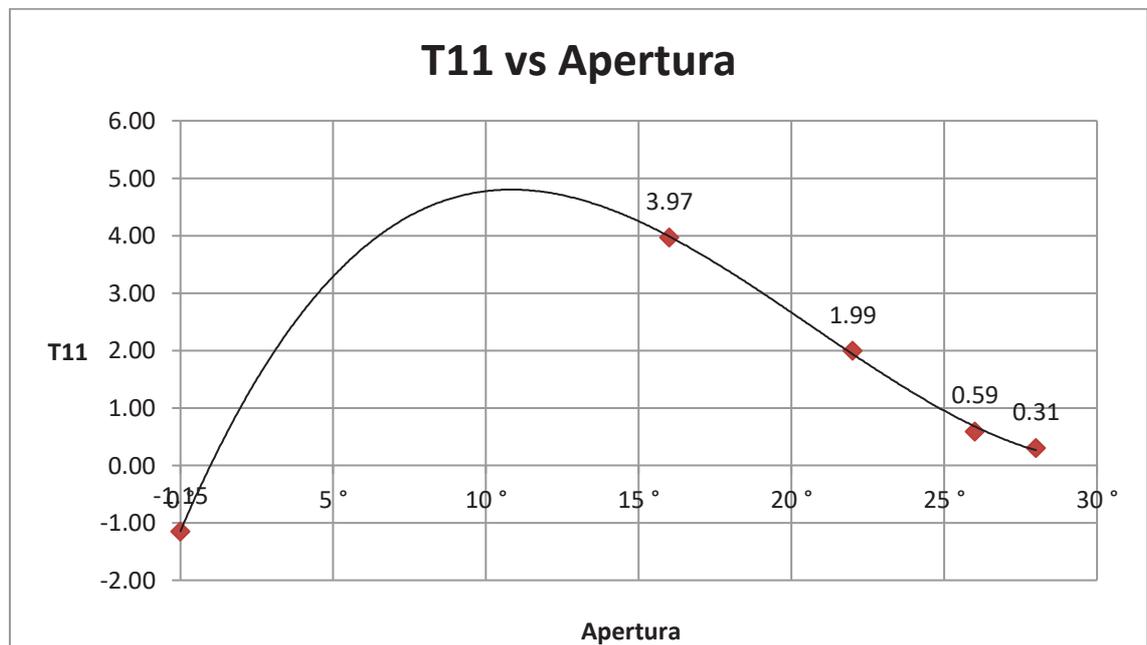


Figura 21 T11 vs Apertura para el caudal de 0.35 m³/s

4-3.3.3. $Q_1=0.40 \text{ m}^3/\text{s}$

Para este caudal se obtiene el siguiente gráfico de torque:

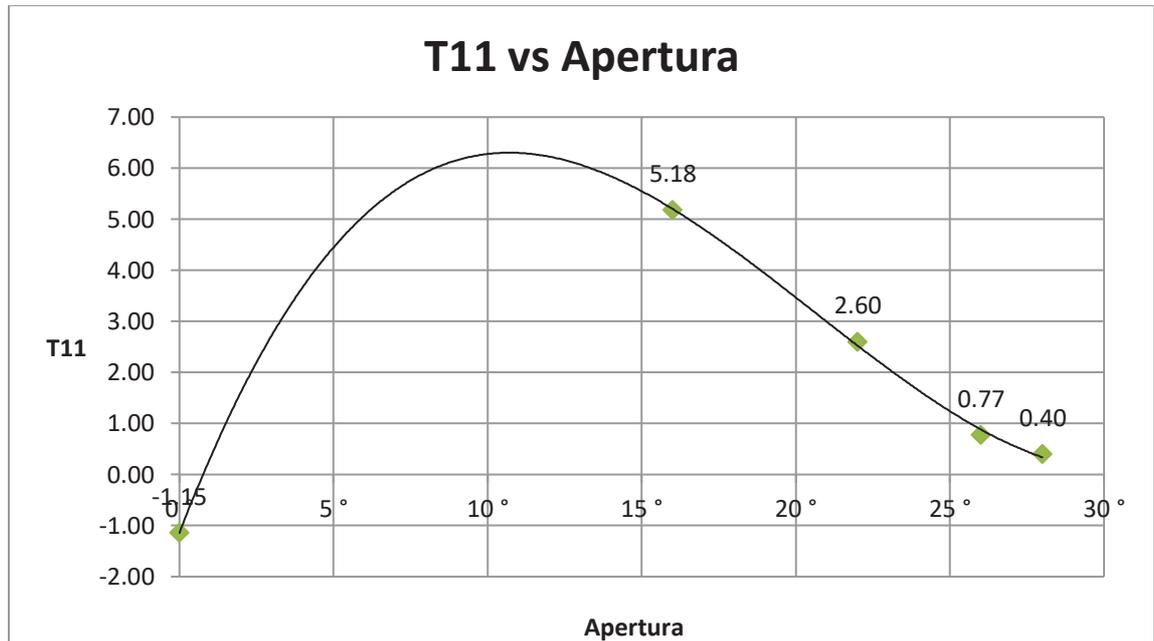


Figura 22 T11 vs Apertura para el caudal de $0.40 \text{ m}^3/\text{s}$

4-3.3.4. $Q_1=0.45 \text{ m}^3/\text{s}$

Para este caudal se obtiene el siguiente gráfico de torque:

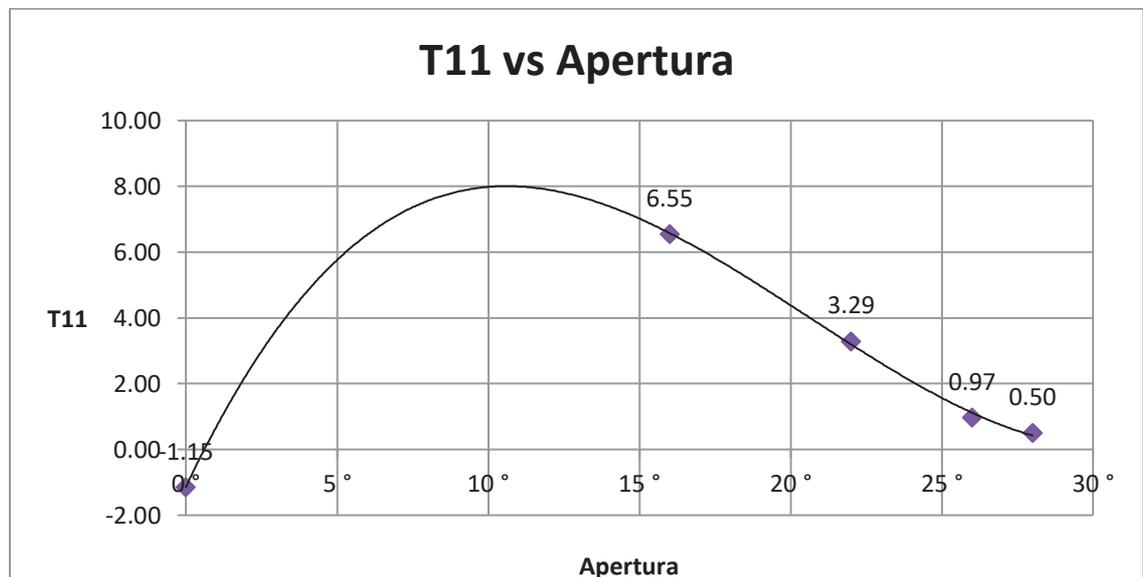


Figura 23 T11 vs Apertura para el caudal de $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$

4-3.4. Conclusiones

Si se grafica la relación entre el T11 y la apertura para los distintos caudales, se observa que la tendencia se mantiene al igual que el corte por cero:

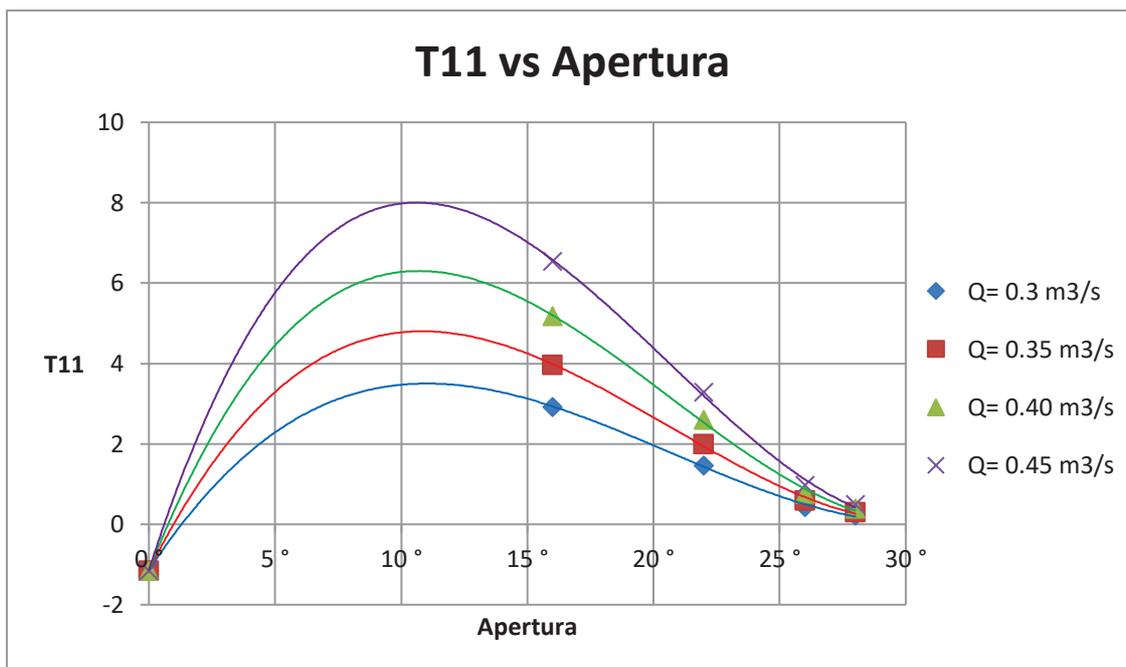


Figura 24 T11 vs Apertura para todos los caudales

Luego se grafica el T11 en función del caudal para distintas aperturas:

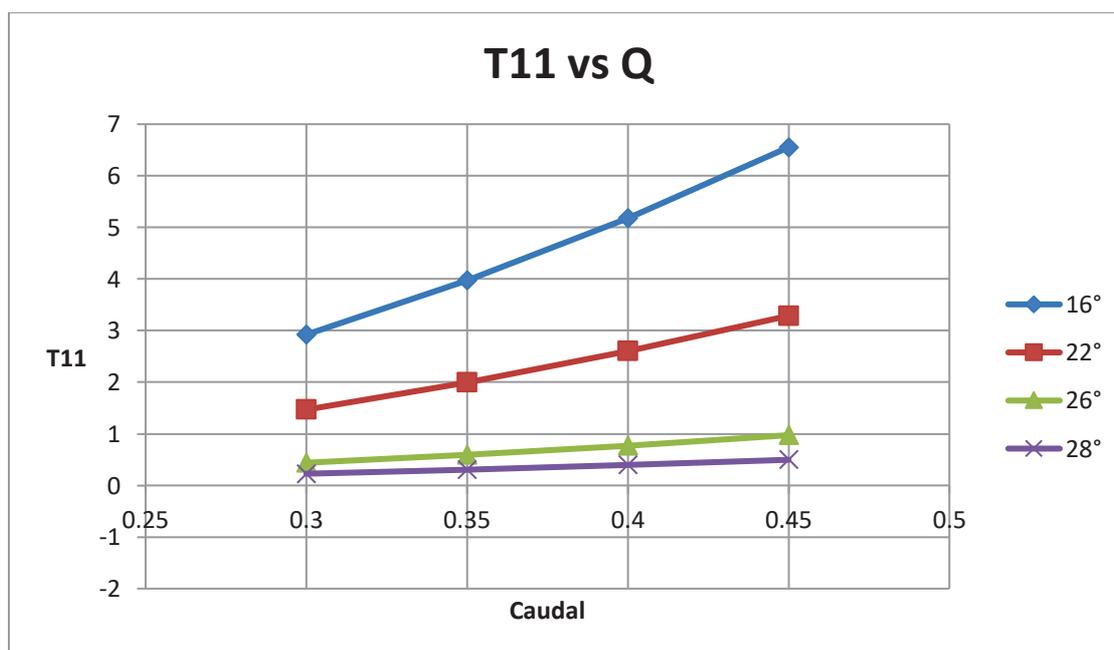


Figura 25 T11 en función del caudal

Como conclusión de este análisis se puede observar que al aumentar la apertura, la incidencia del caudal con respecto a T11 se vuelve insignificante. Sin embargo, si se sigue aumentando el caudal, la incidencia del mismo vuelve a aumentar (gráficamente se obtendría un abanico de rectas).

En cuanto a los ángulos de flujo se puede observar que no varían con respecto al caudal ya dependen de la geometría del distribuidor, esto se puede observar con los siguientes gráficos analizando la apertura de 26°:

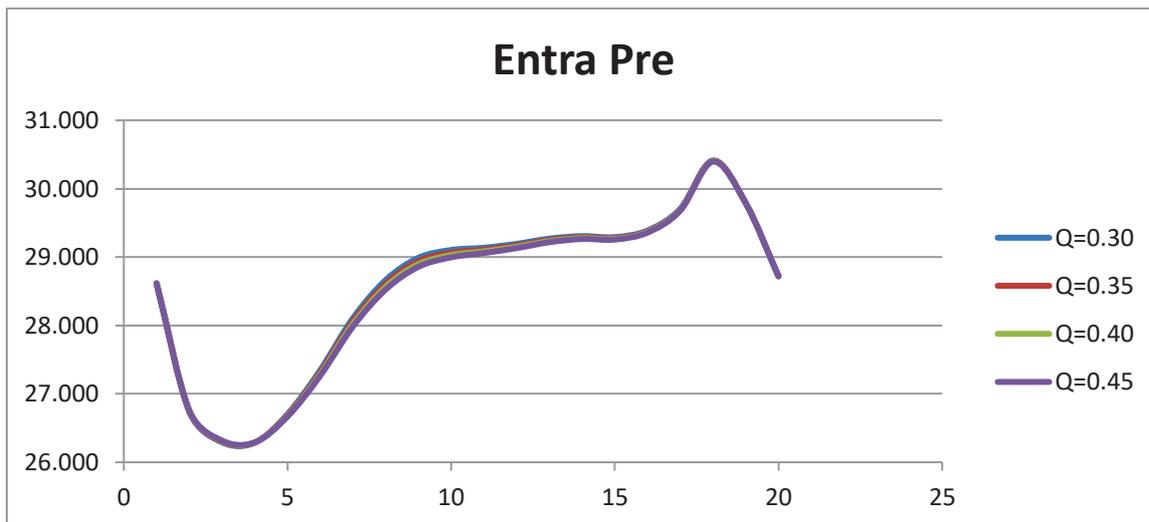


Figura 26 Ángulos de flujo a la entrada del pre para apertura de 26°

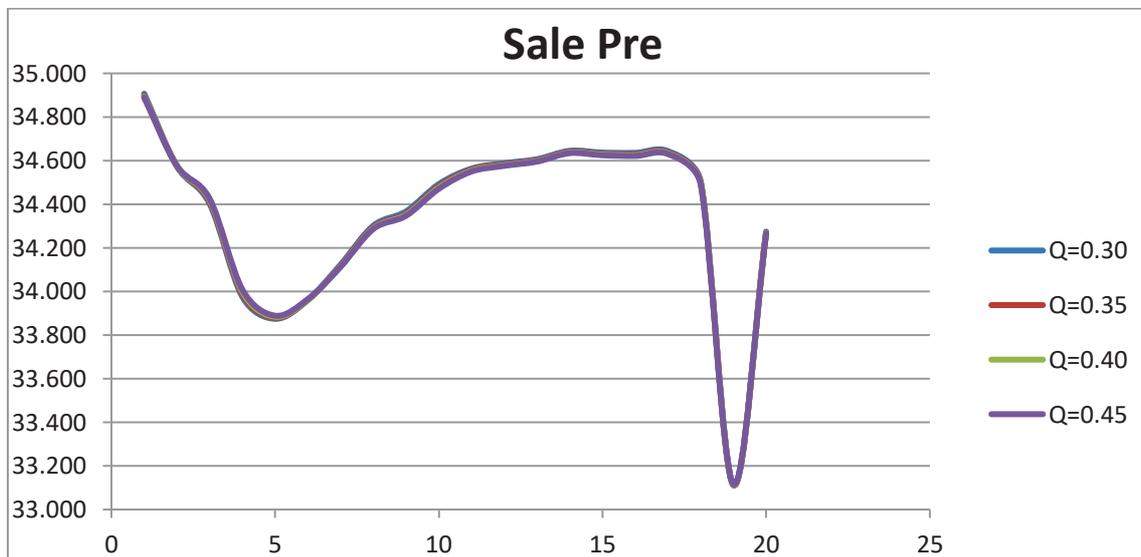


Figura 27 Ángulos de flujo a la salida del pre para apertura de 26°



Figura 28 Ángulos de flujo a la salida del distri para apertura de 26°

Analizando las pérdidas, se puede observar que las mismas aumentan aproximadamente de forma lineal cuando el caudal aumenta. Si se grafica esta variación, por ejemplo, para la apertura 26°, tenemos:

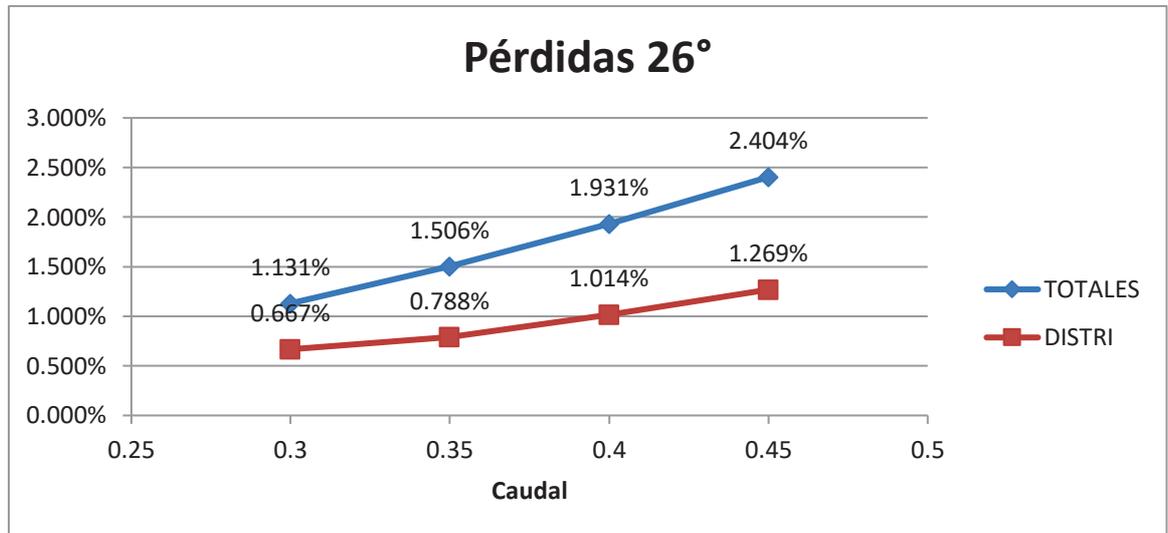


Figura 29 Pérdidas para la apertura de 26°

4-3.5. Análisis con otro distribuidor

Para este nuevo análisis se procede a verificar la interacción del flujo con un distribuidor que tiene otra forma y dimensiones. Se analiza como varía el corte por cero en el torque. La forma del nuevo distribuidor tiene una relación ancho/largo menor que la del modelo anterior:

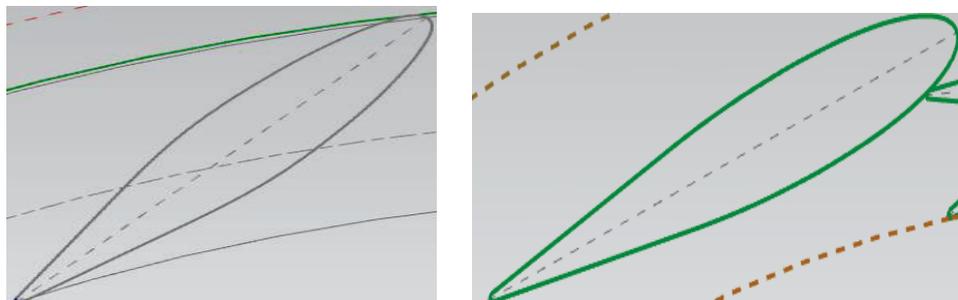


Figura 30 Geometrías del distribuidor original (izq.) y el nuevo distribuidor (der.)

Se obtiene un corte por cero menor al obtenido con el otro distribuidor, se puede observar en el siguiente gráfico:

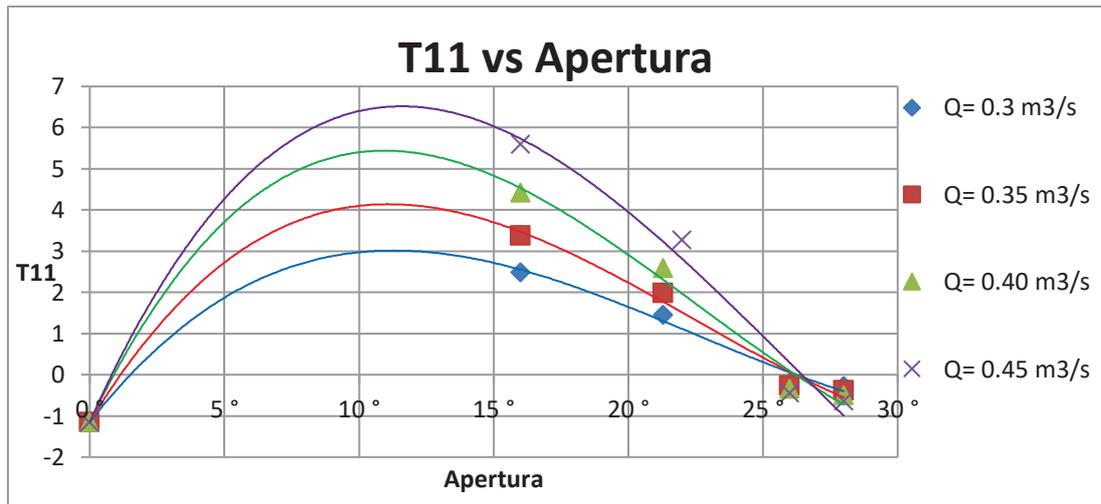


Figura 31 T11 vs Apertura para el nuevo distribuidor

En cuanto a la relación de T11 vs Caudal:

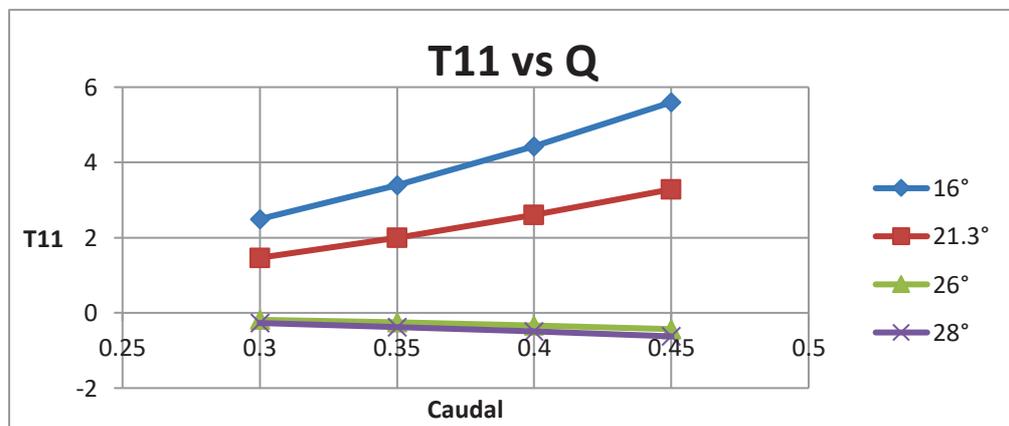


Figura 32 T11 en función del caudal para el nuevo distribuidor

Se puede ver la incidencia que tiene la geometría del distribuidor en los resultados obtenidos. Es importante en el proceso de diseño probar distintas geometrías para encontrar la que tenga mejor comportamiento hidráulico y nos dé una mayor eficiencia.

4-4. Análisis de fuerzas en junta compensadora

El banco de ensayos de la turbina Francis del laboratorio cuenta con un sistema de tuberías que toma agua de la cisterna, un tanque de presión que le entrega agua al modelo de turbina con el salto correspondiente (generalmente 20 m.c.a.) y otro tanque a presión que modifica el nivel de restitución.

El caudal que ingresa a la cámara genera un sistema de fuerzas que tienden a desplazar el banco de ensayos en la dirección de las mismas y esto genera desplazamientos indeseados a la hora de ensayar un modelo. Para solucionar este inconveniente, se diseñó una junta compensadora que se encarga de contrarrestar estas solicitaciones y darle estabilidad al conjunto.

En la imagen se observa a la izquierda el tanque de presión con una tubería que toma el agua dentro del tanque para que el flujo llegue a la cámara de manera uniforme, entre el tanque y la cámara se coloca la junta compensadora marcada en el dibujo.

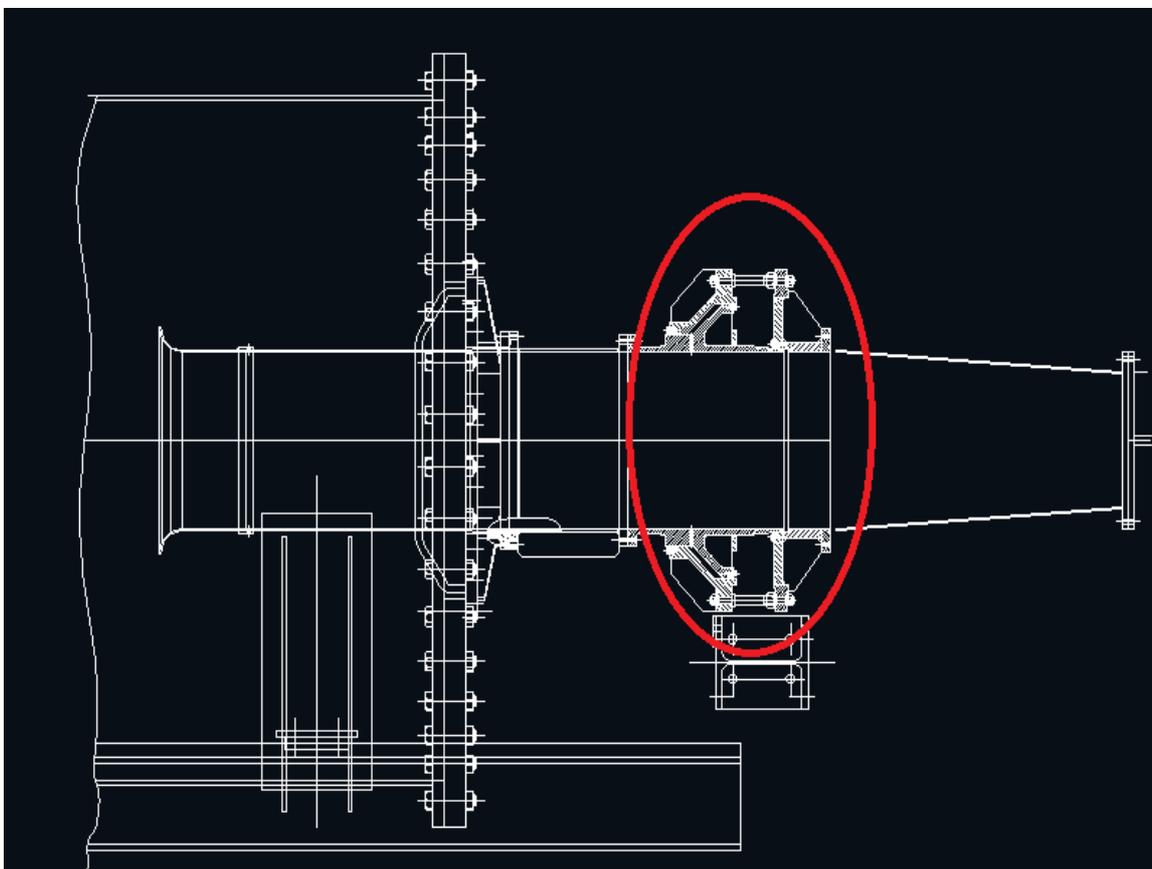


Figura 33 Sistema tanque-junta compensadora-cámara

La junta compensadora tiene un sector conectado al tanque y otro conectado a la tubería que llega a la cámara. La fuerza " F_t " del sector conectado al tanque es transmitida a los soportes del mismo, las fuerzas verticales " F_{v1} " y " F_{v2} " son compensadas entre sí, pero la fuerza que se debe calcular para verificar que no se produzcan desplazamientos indeseados es la fuerza " F_c " que es aquella encargada de contrarrestar la fuerza generada por la cámara, la cual varía para distintos caudales y para distintas aperturas.

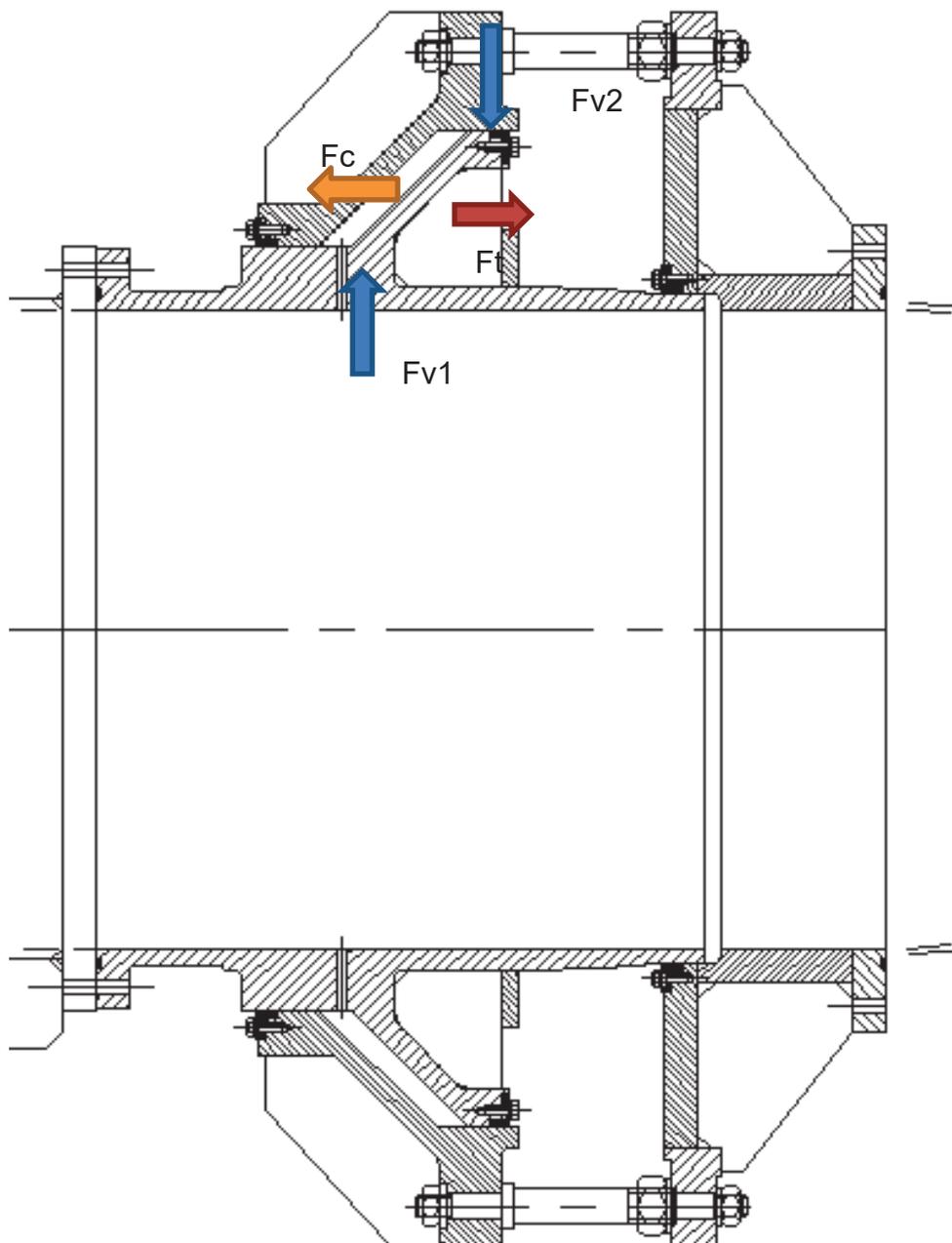


Figura 34 Sistema de fuerzas en junta compensadora

La fuerza Fc se calcula de la siguiente manera:

$$F_c = \rho * g * H * \left(\frac{D_{mayor}^2 - D_{menor}^2}{4} * \pi \right) = [N]$$

- $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- $H = 20 \text{ m}$
- $D_{mayor} = 888 \text{ mm} = 0.888 \text{ m}$
- $D_{menor} = 680 \text{ mm} = 0.680 \text{ m}$

Por lo tanto,

$$F_c = 998 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 20m * \left(\frac{(0.888m)^2 - (0.680m)^2}{4} * \pi \right)$$

$$F_c = 50157 N$$

Es importante remarcar que el modelo se calculó para media cámara, por lo tanto debemos duplicar la fuerza obtenida en el análisis para obtener la fuerza total en esa dirección. Para las distintas aperturas y caudales se obtuvieron los siguientes resultados:

FUERZA CÁMARA [N]					
Apertura	Caudal				Relación F _c /F _c cámara(Q=0.45)
	0.3	0.35	0.4	0.45	
16	13213	18001	23523	29783	1.7
22	6552	8925	11661	14760	3.4
26	4870	6629	8658	10958	4.6
28	4198	5712	7459	9440	5.3

En nuestro análisis la junta compensadora resiste todo el abanico de fuerzas generado por la cámara para los distintos caudales y aperturas. En caso de que esto no verifique, se puede bajar el salto en el tanque de presión bajando las rpm de la cisterna y aumentando las rpm de la turbina para mantener el n11 de ensayo.

4-5. Análisis estructural

4-5.1. Geometría

Se debe elaborar una nueva geometría en NX, a partir de la hidráulica obtenida previamente, considerando las virolas más grandes ya que las mismas son las que sufrirán las mayores solicitaciones.

El modelo se debe escalar a prototipo, para esto se debe encontrar la escala considerando el diámetro que tendrá el rodete (1860 mm) y el diámetro del modelo (360 mm). Esta escala es 5,167.

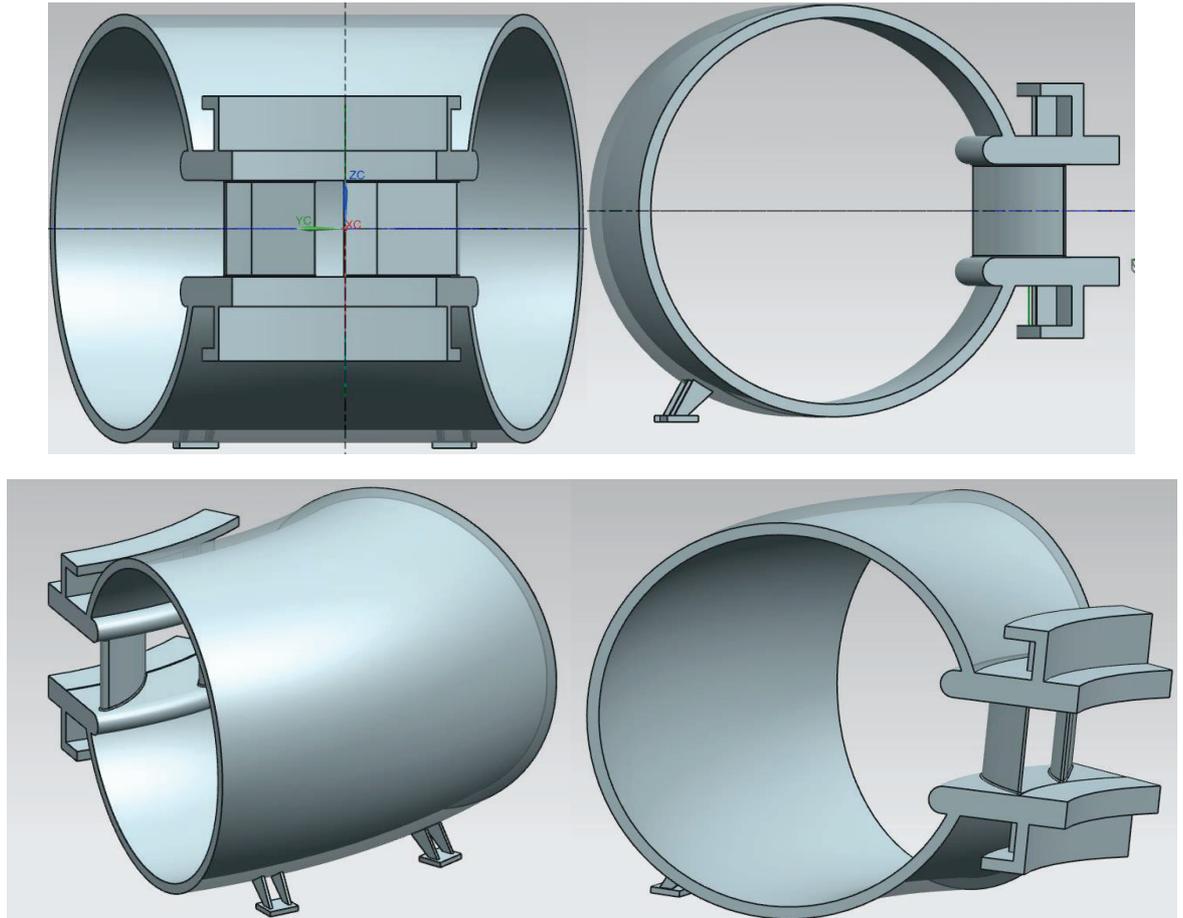


Figura 35 Geometría 3-D para análisis estructural

4-5.2. Mallado

Se crea un nuevo Workbench de Ansys, pero esta vez se realiza un análisis “Static Structural” en donde se importa la geometría desde NX y la malla se hace directamente en Ansys. Se refinan los sectores de los apoyos y el pre distribuidor, disminuyendo el tamaño de elemento, para garantizar mejores resultados en esas zonas.

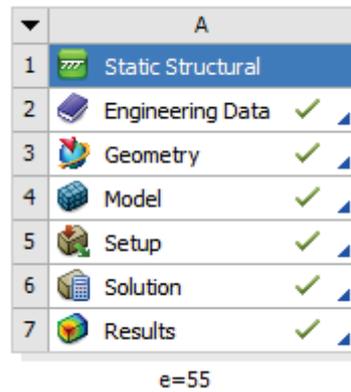


Figura 36 Cuadro de trabajo de Static Structural

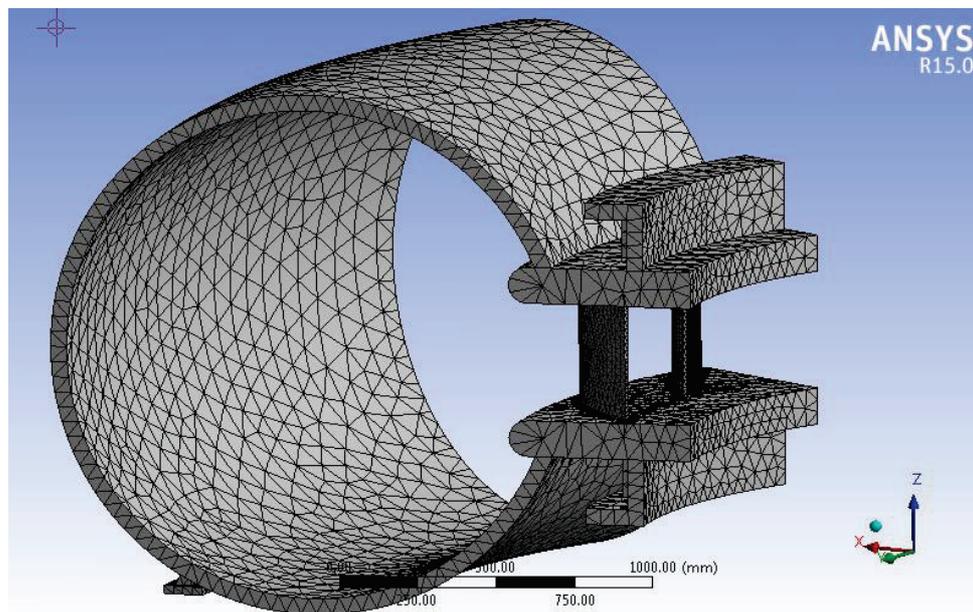


Figura 37 Mallado de la estructura en ANSYS

4-5.3. Condiciones iniciales

Se seleccionan los apoyos y se establecen las cargas a la cual va a estar sometido nuestro modelo, que son:

- Gravedad: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Para calcular la presión P1 que se aplica en la cara de la virola se tienen en cuenta los siguientes niveles:

Nivel de embalse máximo	1373	msnm
Elevación plano medio del distribuidor	1175	msnm

Esto nos da un salto H de 198 m.c.a, para obtener la presión multiplicamos por $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$ y por $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

- Presión en cara de virola: $P1 = 1.933 \text{ MPa}$

Las fuerzas consideradas se pueden observar en la siguiente figura:

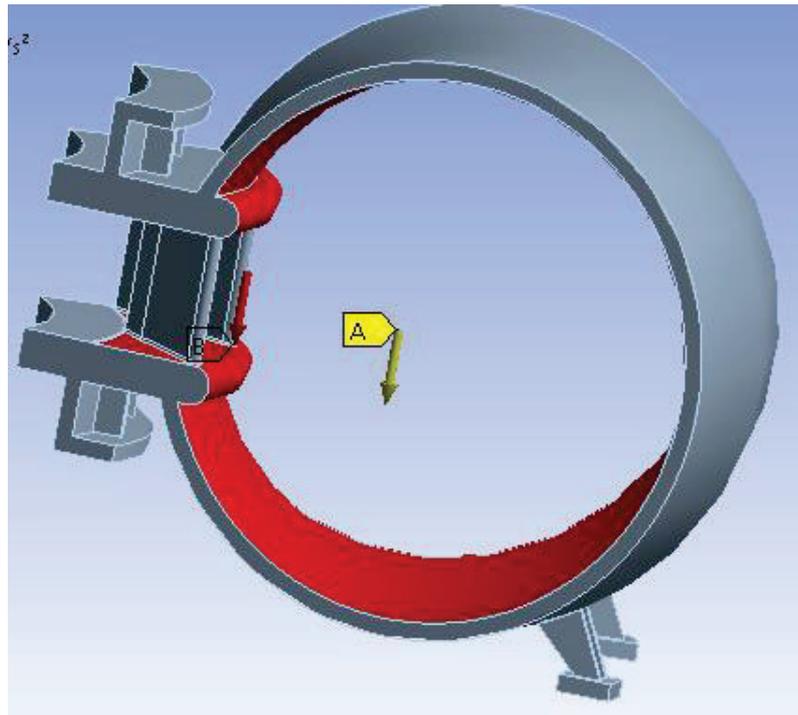


Figura 38 Fuerzas consideradas en el análisis

Los apoyos a considerar son 3, los mismos pueden observarse en la siguiente figura:

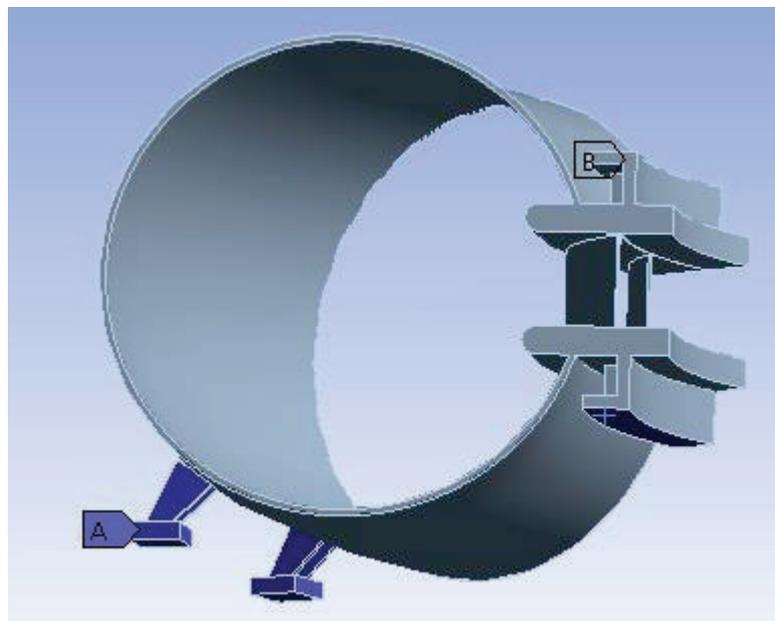


Figura 39 Apoyos del sistema

4-5.4. Resultados

En este análisis se tiene en cuenta el criterio de tensiones admisibles, consideramos para nuestro estudio, una tensión límite de 250 MPa en el predistribuidor.

Se realizaron varias iteraciones con distintas geometrías en las que se modificaban los espesores de las virolas y su ubicación. La ubicación se modificaba desde la posición original hacia el centro. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Análisis	Modelo	Desplazamiento (modelo)	Espesor virola	Carga	Tensión Máxima	Tensión Mínima
1	Virola N° 7	-	27.8 mm	1.933 MPa	389 MPa	0.4 MPa
2	Virola N° 7 corrida	10 mm	27.8 mm	1.933 MPa	248 MPa	0.52 MPa
3	Virola N° 7	-	55.8 mm	1.933 MPa	142 MPa	0.65 MPa
4	Virola grande	-	27.8 mm	1.933 MPa	658 MPa	2 MPa
5	Virola grande corrida	15 mm	27.8 mm	1.933 MPa	285 MPa	2.3 MPa
6	Virola grande corrida	15 mm	38.2 mm	1.933 MPa	294 MPa	0.3 MPa
7	Virola grande corrida	5 mm	32.7 mm	1.933 MPa	405 MPa	0.9 MPa
8	Virola grande corrida	17 mm	27.8 mm	1.933 MPa	390 MPa	1.9 MPa
9	Virola grande corrida (aumento apoyos)	15 mm	27.8 mm	1.933 MPa	238 MPa	1.7 MPa

El programa ofrece una visualización de los lugares donde se producen estas tensiones máximas con sus respectivos valores:

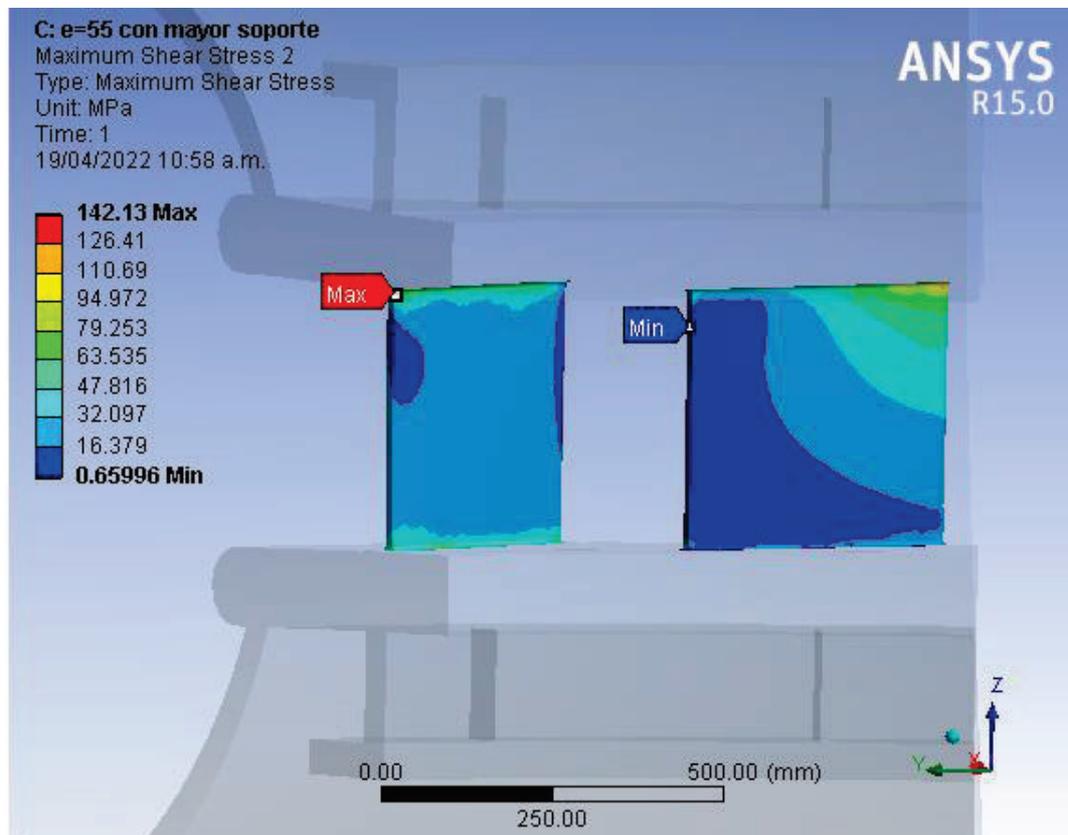


Figura 40 Tensiones en el predistribuidor

También pueden observarse las deformaciones que sufre el sistema:

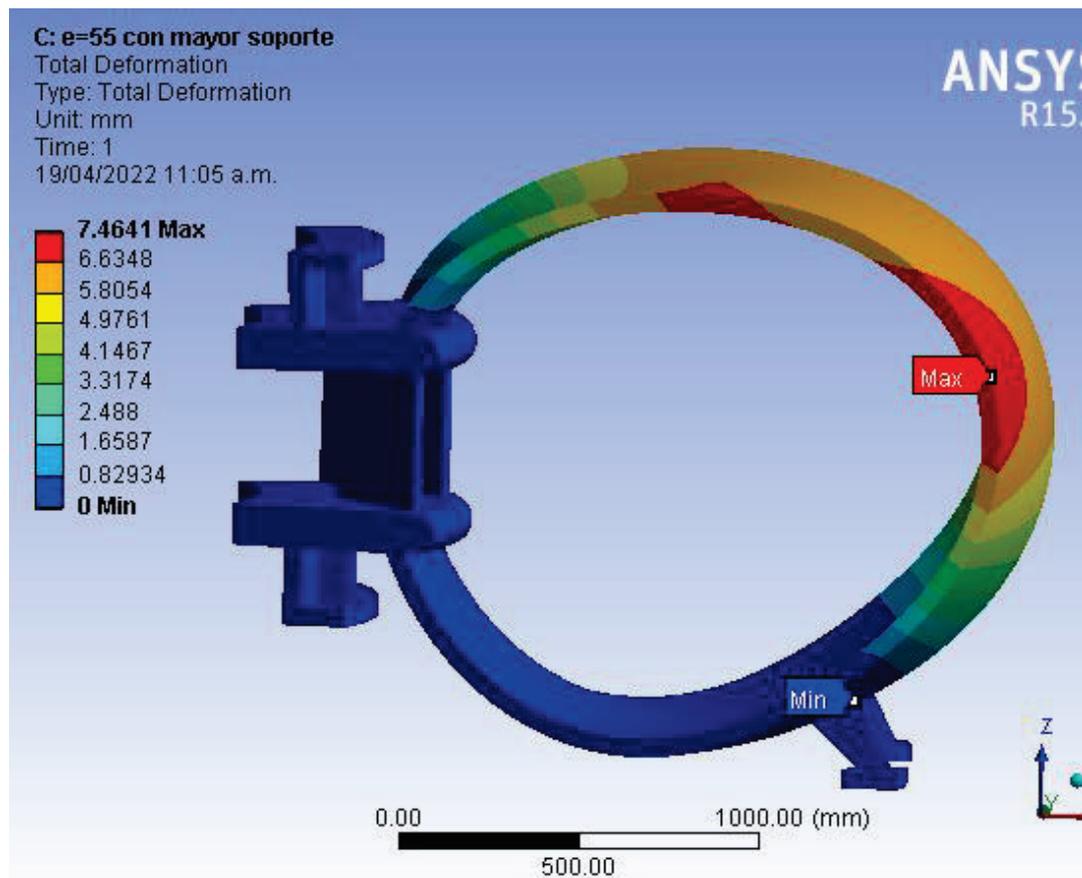


Figura 41 Deformaciones de la estructura

4-6. Verificación final

Luego de verificar la cámara estructuralmente, se debe modificar la geometría realizando los desplazamientos de todas las virolas, se realiza un nuevo mallado y se vuelve a correr con CFD para verificar resultados.

En nuestro caso, hacer más compacta la turbina genera que la obra civil asociada sea más chica y por ende tenga un menor costo. Puede pasar que haya que desplazar las virolas hacia afuera, encareciendo la obra civil.

En la nueva corrida con CFD se analizaron las aperturas de 16°, 22° y 26°. Se analizan los ángulos de flujo nuevos y se los comparan con los originales.

Se puede observar que los ángulos de flujo a la entrada y salida del pre disminuyen y se uniformizan con respecto al diseño original y en cuanto a los ángulos de salida del distri, los mismos aumentan unos grados pero mantienen la uniformidad.

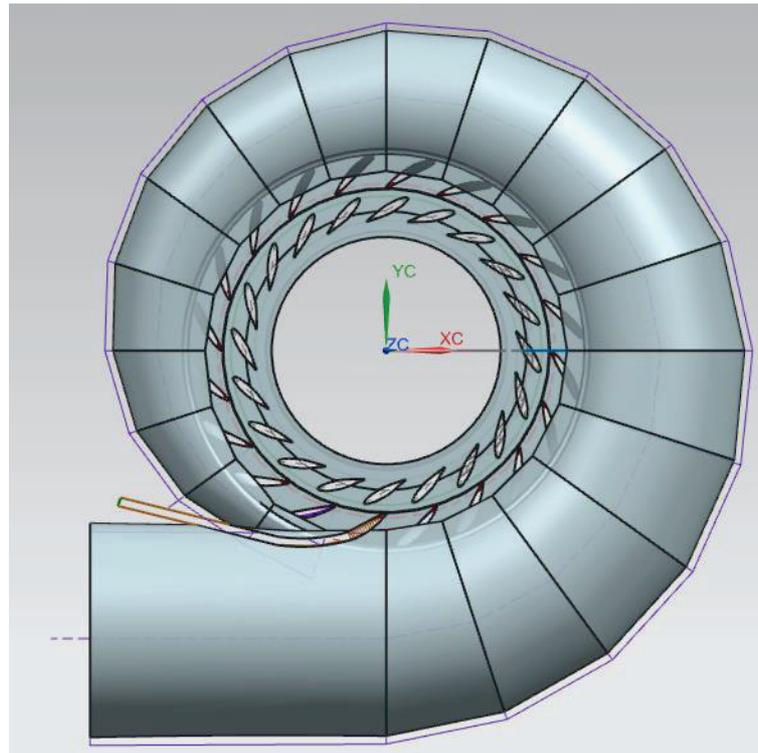


Figura 42 Cámara modificada con virolas desplazadas

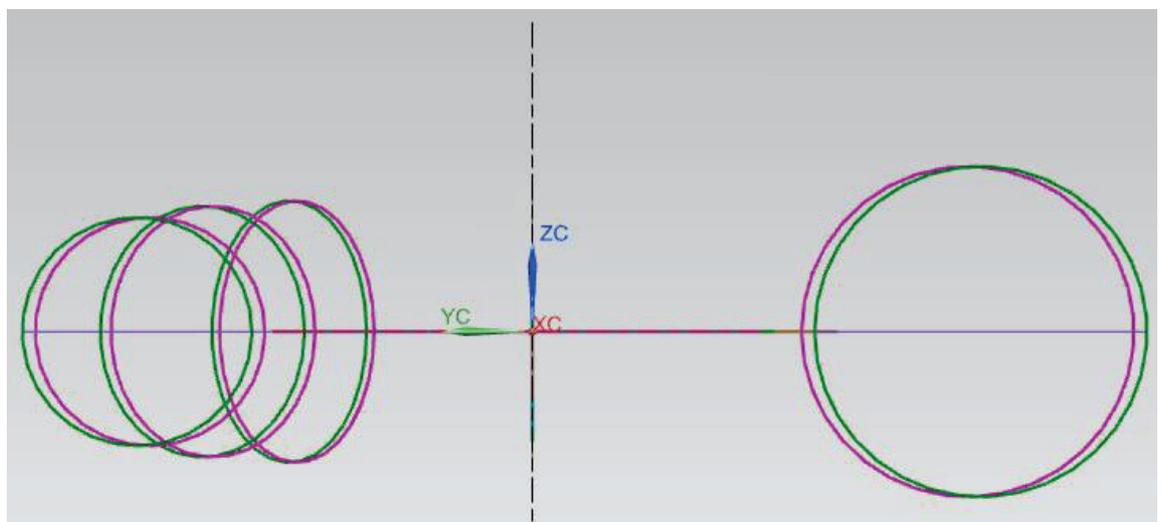


Figura 43 Virolas modificadas en magenta desplazadas 15 mm hacia el centro y virolas originales en verde

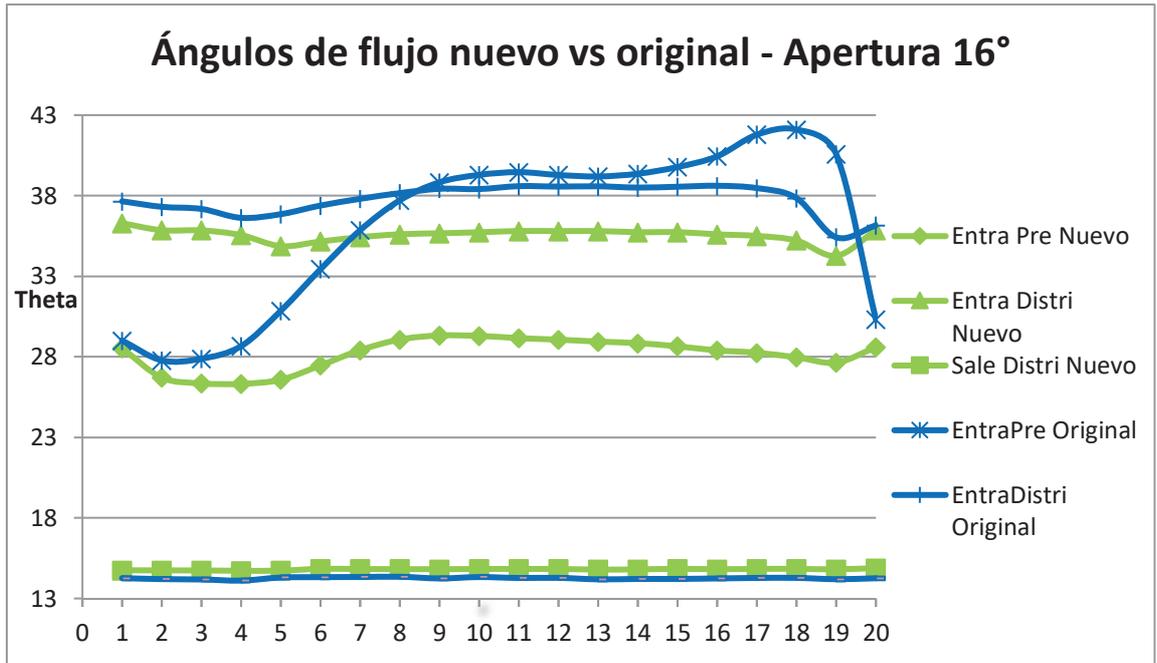


Figura 44 Ángulos de flujo nuevo vs original - 16°

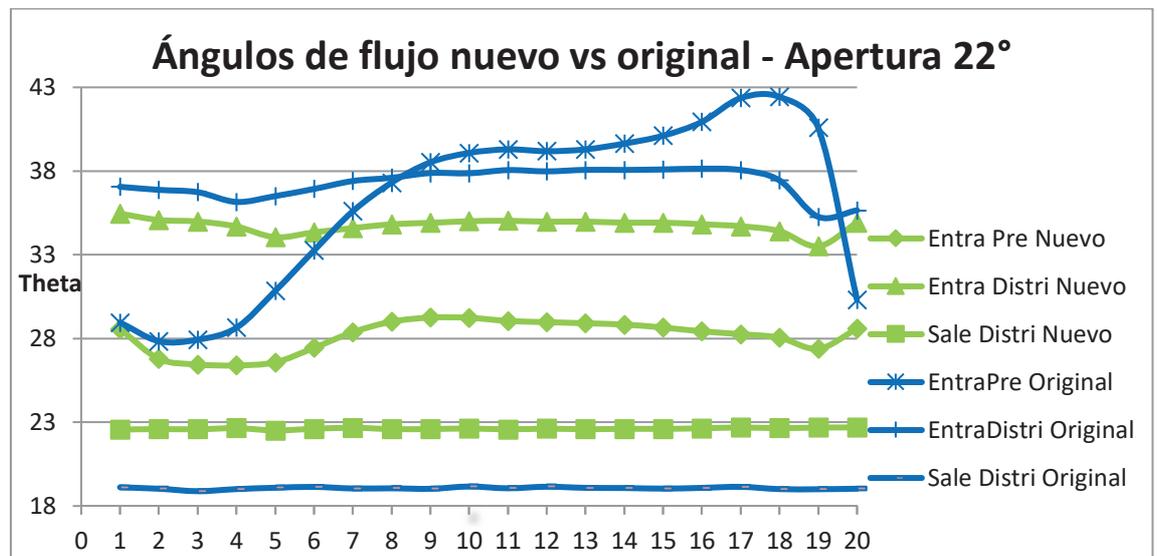


Figura 45 Ángulos de flujo nuevo vs original - 22°

La apertura de 26° es la que menos variaciones sufre en cuanto a los ángulos de flujo.

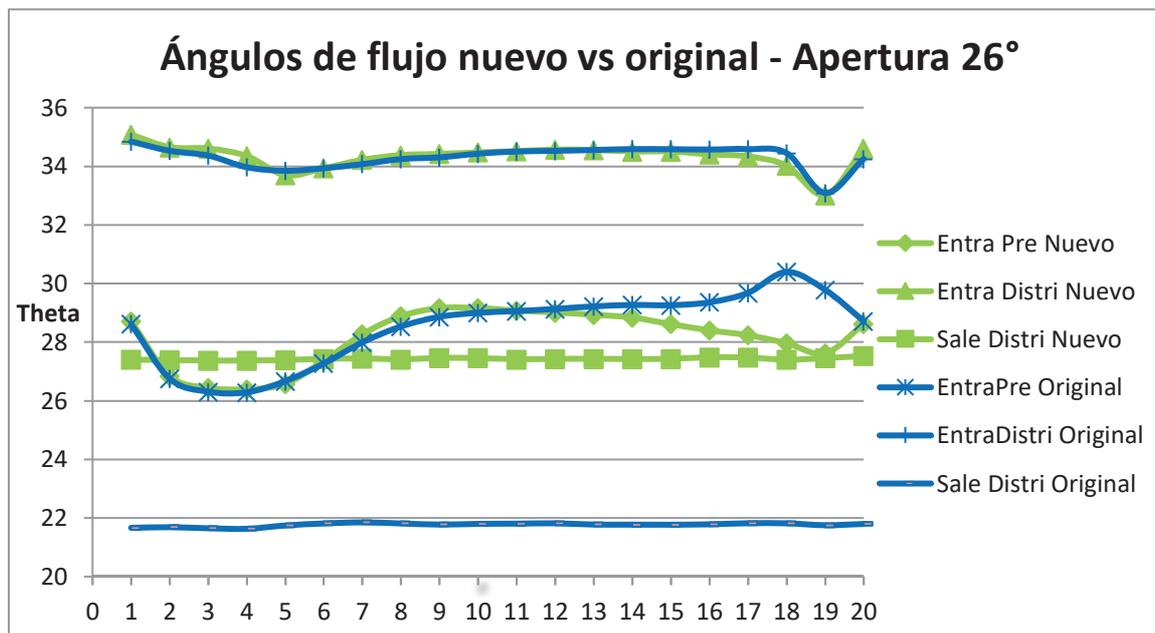


Figura 46 Ángulos de flujo nuevo vs original - 26°

5- Conclusiones sobre aspectos profesionales y laborales

Las conclusiones obtenidas luego de realizar las prácticas profesionales supervisadas son:

- En la realización de las prácticas, se observa que la universidad le otorga al alumno herramientas para comprender, aprender, estudiar y proponer soluciones no sólo ante situaciones o fenómenos propios de la ingeniería civil sino también ante problemáticas no estudiadas o que corresponden a otras ramas de la ingeniería.
- La participación en equipos de trabajo interdisciplinarios permiten un aprendizaje de otras áreas de la ingeniería, permitiendo abrir un abanico de posibilidades en cuanto al amplio campo laboral en el que el futuro ingeniero civil se podrá desarrollar.
- La experiencia de trabajar en una empresa grande como IMPSA que tiene cierta estructura, procedimientos para los distintos trabajos, normas y horarios, permiten el desarrollo del profesional en valores como el respeto, responsabilidad, compañerismo, puntualidad y orden, entre otros.

6- Recomendaciones para futuras prácticas

En cuanto a la rama hidráulica de la ingeniería civil, he podido observar en los últimos años de la carrera que son muy pocos los alumnos que eligen esta orientación y debido a la necesidad de profesionales de este sector sería bueno generar algún tipo de motivación para que sean más los interesados en este sector.

Por ejemplo, sería interesante que al finalizar el tercer año de cursado los alumnos tengan la posibilidad de realizar algún tipo de práctica profesional para acercarse al medio laboral y de esta manera puedan conocer las distintas alternativas laborales que existen.

7- Comentarios personales

Considero que este período de prácticas fue una instancia muy provechosa para mi desarrollo como profesional, ya que pude aprender y aplicar habilidades tanto técnicas como personales.

Agradezco al ingeniero Fernando Graffigna, quien me abrió generosamente las puertas de la empresa para poder desarrollar este período de prácticas profesionales.

Agradezco a mi tutor, el ingeniero Nicolás Japaz, quien me acompañó y guió en el desarrollo de las actividades transmitiéndome conocimientos y experiencias tanto en lo técnico como en lo personal.

También agradezco al equipo de trabajo del área de Diseño Hidráulico del CIT por su disposición para integrarme al sector y ayudarme cada vez que lo necesité.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería y al ingeniero Alejandro Cantú por proponer este espacio de transición entre la universidad y el ámbito profesional que es de gran importancia para los futuros ingenieros.

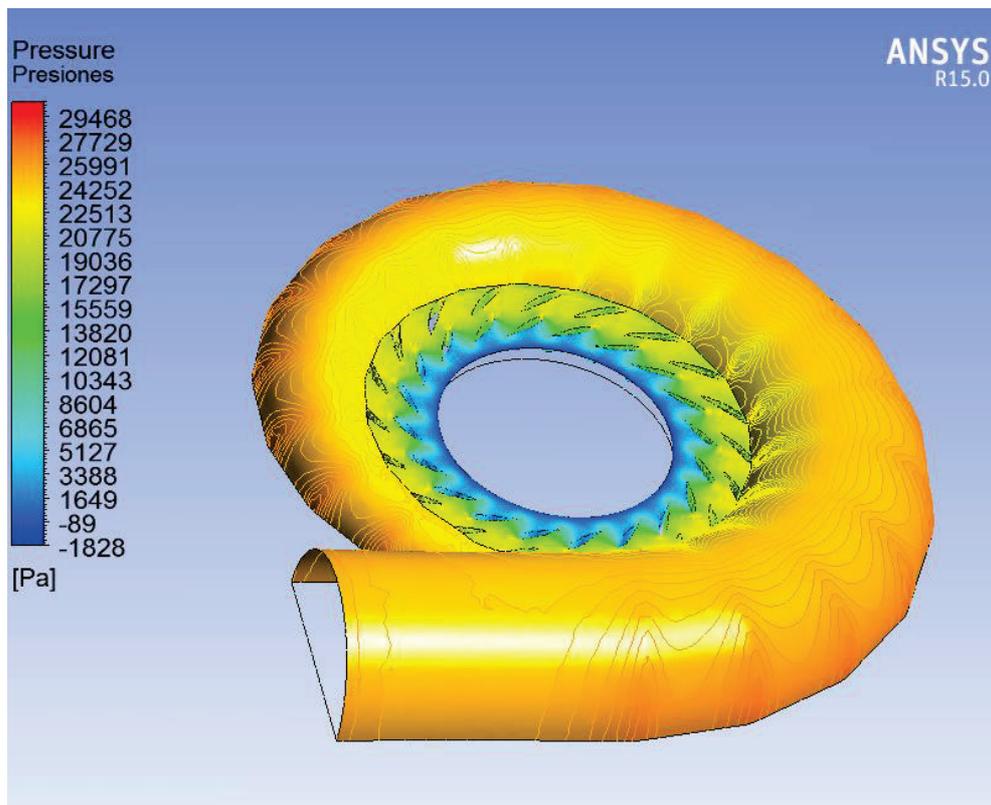
Por último, agradezco a la ingeniera Sandra Ibáñez, docente de la Facultad de Ingeniería, quien fue la que generó el primer contacto con la empresa y me alentó a realizar esta experiencia.

8- Bibliografía de referencia

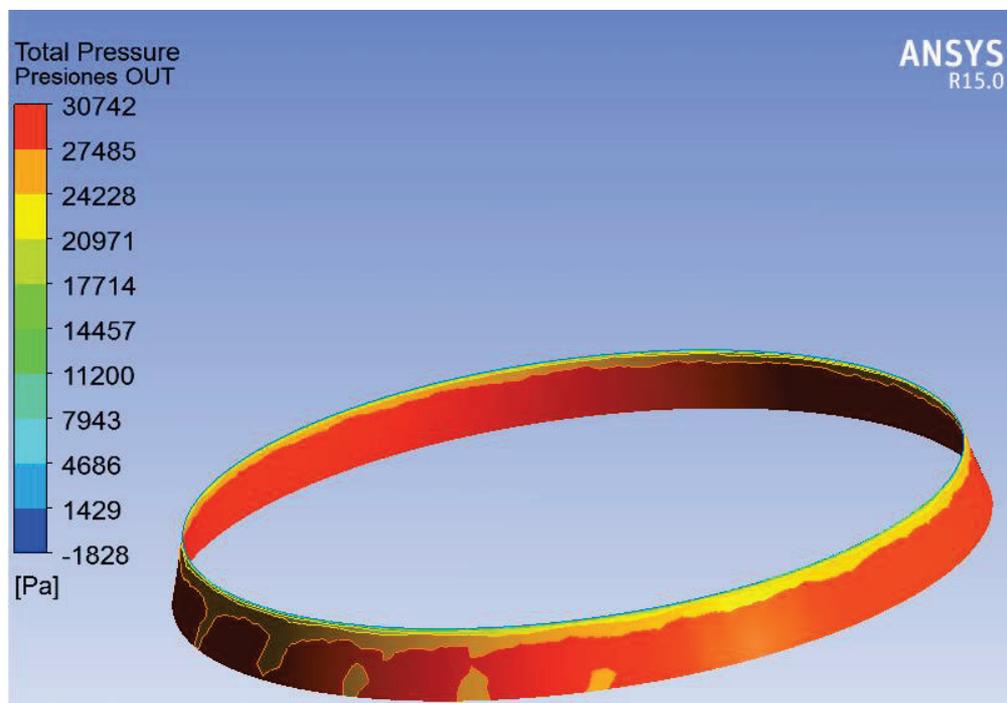
1. The Guide to Hydropower Mechanical Design. ASME Hydropower Technical Committee.
2. User Manual Siemens NX 8.5
3. User Manual ANSYS ICEM CFD 15.0
4. User Manual ANSYS 15.0
5. Sitio web oficial de la empresa. <https://www.impsa.com>

ANEXO 1

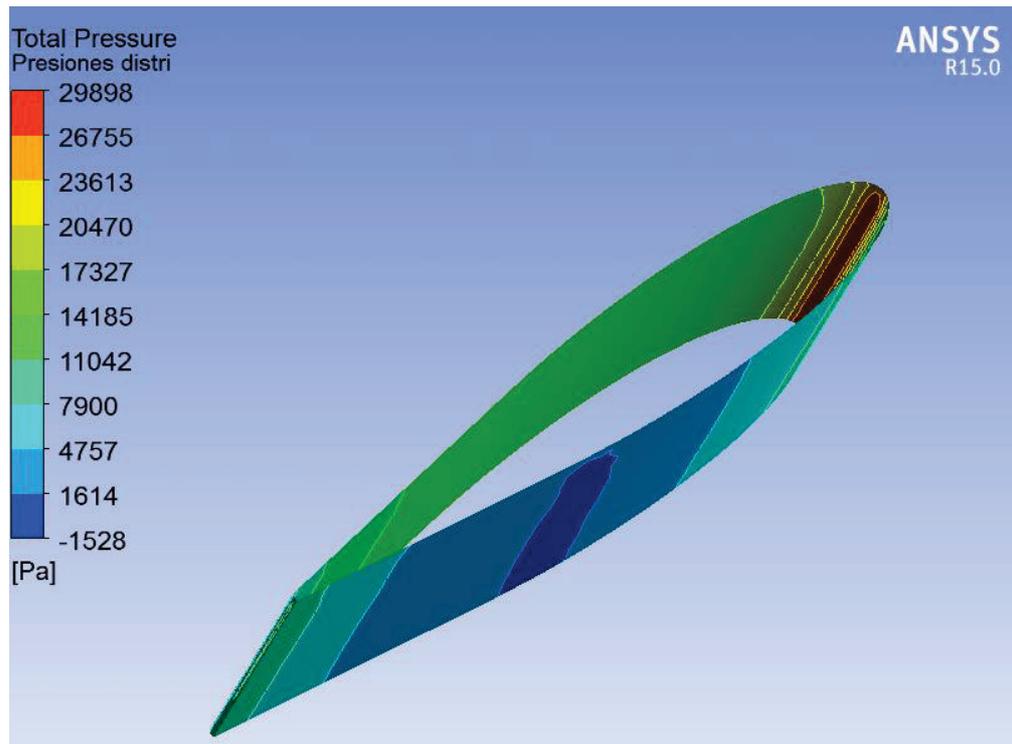
Campo de presiones en virolas:



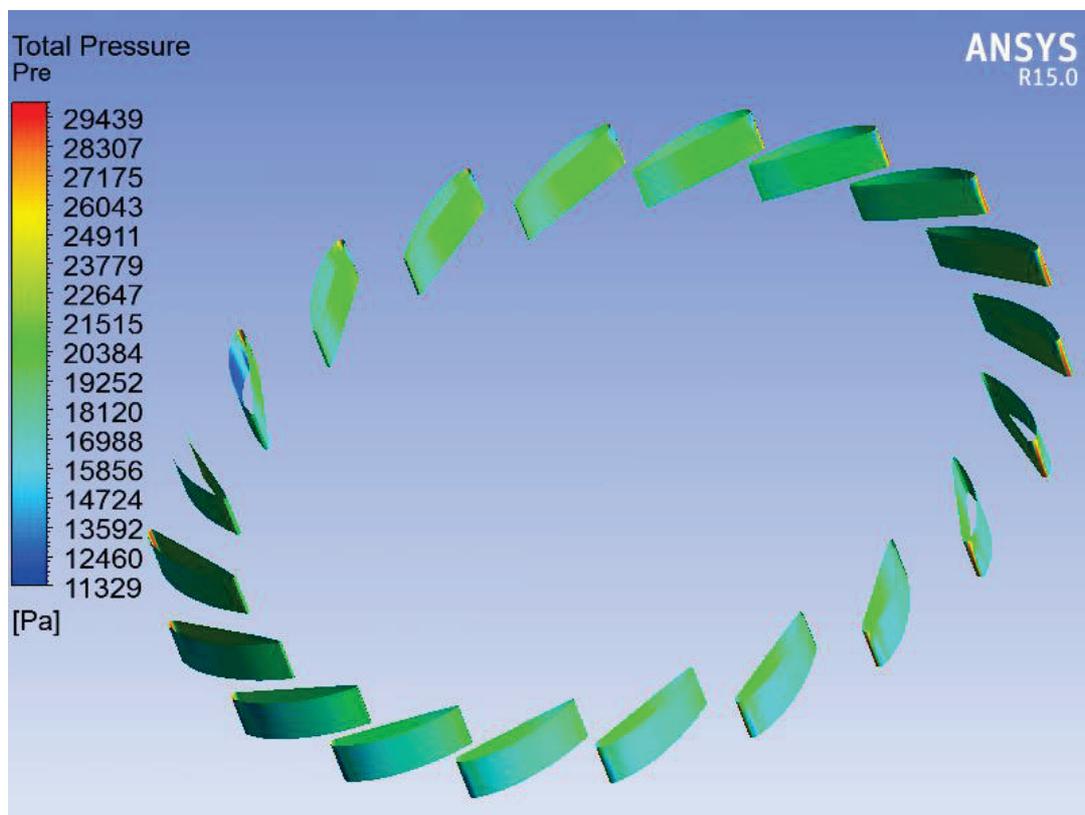
Campo de presiones a la salida:



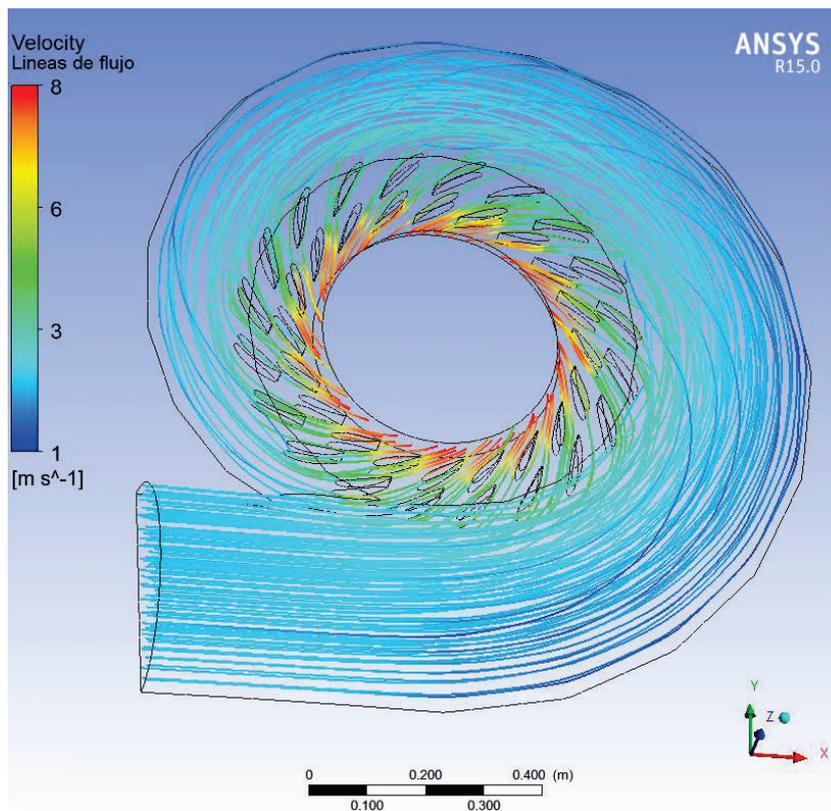
Presiones en un distribuidor:



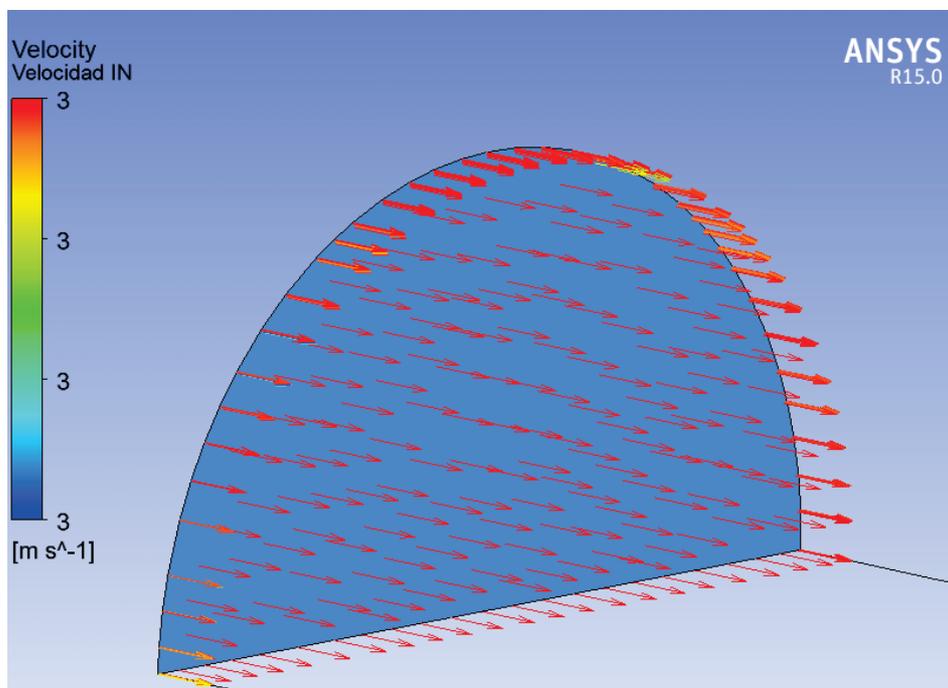
Presiones en el predistribuidor:



Líneas de velocidad:



Vectores de velocidad de entrada:



ANEXO 2

Theta cámara sola

Número	EntraPre	Theta	SalePre	Theta	EntraDistr	Theta	SaleDistr	Theta
1	EntraPre 01	34.1881	SalePre 01	32.403	EntraDistr 01	32.403	SaleDistr 01	30.5239
2	EntraPre 02	30.0168	SalePre 02	29.9136	EntraDistr 02	29.9136	SaleDistr 02	29.1384
3	EntraPre 03	27.285	SalePre 03	28.2937	EntraDistr 03	28.2937	SaleDistr 03	28.0055
4	EntraPre 04	25.6626	SalePre 04	27.355	EntraDistr 04	27.355	SaleDistr 04	27.5345
5	EntraPre 05	24.8466	SalePre 05	27.1202	EntraDistr 05	27.1202	SaleDistr 05	27.5888
6	EntraPre 06	24.839	SalePre 06	27.2834	EntraDistr 06	27.2834	SaleDistr 06	28.0346
7	EntraPre 07	25.1037	SalePre 07	27.5983	EntraDistr 07	27.5983	SaleDistr 07	28.4581
8	EntraPre 08	25.8601	SalePre 08	28.1111	EntraDistr 08	28.1111	SaleDistr 08	28.8484
9	EntraPre 09	26.3668	SalePre 09	28.5831	EntraDistr 09	28.5831	SaleDistr 09	29.2325
10	EntraPre 10	26.7217	SalePre 10	28.8678	EntraDistr 10	28.8678	SaleDistr 10	29.5172
11	EntraPre 11	26.6595	SalePre 11	29.074	EntraDistr 11	29.074	SaleDistr 11	29.8734
12	EntraPre 12	27.075	SalePre 12	29.3487	EntraDistr 12	29.3487	SaleDistr 12	30.2183
13	EntraPre 13	27.6992	SalePre 13	29.731	EntraDistr 13	29.731	SaleDistr 13	30.3195
14	EntraPre 14	27.7239	SalePre 14	29.9755	EntraDistr 14	29.9755	SaleDistr 14	30.6298
15	EntraPre 15	27.8901	SalePre 15	30.2759	EntraDistr 15	30.2759	SaleDistr 15	31.124
16	EntraPre 16	28.0248	SalePre 16	30.831	EntraDistr 16	30.831	SaleDistr 16	31.9
17	EntraPre 17	28.4574	SalePre 17	31.7983	EntraDistr 17	31.7983	SaleDistr 17	32.4288
18	EntraPre 18	30.4401	SalePre 18	32.6008	EntraDistr 18	32.6008	SaleDistr 18	32.5077
19	EntraPre 19	31.6744	SalePre 19	32.0196	EntraDistr 19	32.0196	SaleDistr 19	32.4328
20	EntraPre 20	29.4666	SalePre 20	32.4297	EntraDistr 20	32.4297	SaleDistr 20	32.1178
Promedio	EntraPre Prom	27.9831	Sale Pre Prom	29.8864	EntraDistr Prom	29.8864	SaleDistr Prom	30.1025

Theta cámara con PRE

Número	EntraPre	Theta	SalePre	Theta	EntraDistr	Theta	SaleDistr	Theta
1	EntraPre 01	28.721	SalePre 01	33.1536	EntraDistr 01	33.1536	SaleDistr 01	32.7809
2	EntraPre 02	27.0142	SalePre 02	33.0162	EntraDistr 02	33.0162	SaleDistr 02	32.6244
3	EntraPre 03	26.4762	SalePre 03	32.898	EntraDistr 03	32.898	SaleDistr 03	32.495
4	EntraPre 04	26.2974	SalePre 04	32.6826	EntraDistr 04	32.6826	SaleDistr 04	32.4096
5	EntraPre 05	26.4889	SalePre 05	32.6134	EntraDistr 05	32.6134	SaleDistr 05	32.4499
6	EntraPre 06	26.9016	SalePre 06	32.5154	EntraDistr 06	32.5154	SaleDistr 06	32.5349
7	EntraPre 07	27.3965	SalePre 07	32.5565	EntraDistr 07	32.5565	SaleDistr 07	32.6297
8	EntraPre 08	27.7827	SalePre 08	32.6973	EntraDistr 08	32.6973	SaleDistr 08	32.822
9	EntraPre 09	28.1163	SalePre 09	32.8242	EntraDistr 09	32.8242	SaleDistr 09	32.8848
10	EntraPre 10	28.2846	SalePre 10	32.8501	EntraDistr 10	32.8501	SaleDistr 10	32.8853
11	EntraPre 11	28.4183	SalePre 11	32.8428	EntraDistr 11	32.8428	SaleDistr 11	32.9351
12	EntraPre 12	28.4557	SalePre 12	32.8711	EntraDistr 12	32.8711	SaleDistr 12	33.0223
13	EntraPre 13	28.5784	SalePre 13	32.9398	EntraDistr 13	32.9398	SaleDistr 13	33.0223
14	EntraPre 14	28.6646	SalePre 14	32.9766	EntraDistr 14	32.9766	SaleDistr 14	32.992
15	EntraPre 15	28.8091	SalePre 15	33.031	EntraDistr 15	33.031	SaleDistr 15	32.9739
16	EntraPre 16	28.9034	SalePre 16	33.0123	EntraDistr 16	33.0123	SaleDistr 16	33.0123
17	EntraPre 17	29.2254	SalePre 17	33.0724	EntraDistr 17	33.0724	SaleDistr 17	32.9641
18	EntraPre 18	30.0466	SalePre 18	33.0327	EntraDistr 18	33.0327	SaleDistr 18	32.4779
19	EntraPre 19	30.0466	SalePre 19	31.6732	EntraDistr 19	31.6732	SaleDistr 19	32.3514
20	EntraPre 20	28.6649	SalePre 20	32.7809	EntraDistr 20	32.7809	SaleDistr 20	32.8597
Promedio	EntraPre Prom	27.9814	Sale Pre Prom	32.9836	EntraDistr Prom	32.9836	SaleDistr Prom	32.7507

Theta cámara con DISTRI

Número	EntraPre	Theta	SalePre	Theta	EntraDistr	Theta	SaleDistr	Theta
1	EntraPre 01	28.6213	SalePre 01	34.8277	EntraDistr 01	34.8277	SaleDistr 01	21.6321
2	EntraPre 02	26.7648	SalePre 02	34.5292	EntraDistr 02	34.5292	SaleDistr 02	21.6512
3	EntraPre 03	26.3279	SalePre 03	34.3878	EntraDistr 03	34.3878	SaleDistr 03	21.6227
4	EntraPre 04	26.2915	SalePre 04	33.9999	EntraDistr 04	33.9999	SaleDistr 04	21.6002
5	EntraPre 05	26.6438	SalePre 05	33.8632	EntraDistr 05	33.8632	SaleDistr 05	21.7114
6	EntraPre 06	27.2102	SalePre 06	33.9408	EntraDistr 06	33.9408	SaleDistr 06	21.7822
7	EntraPre 07	27.9009	SalePre 07	34.0713	EntraDistr 07	34.0713	SaleDistr 07	21.8169
8	EntraPre 08	28.4294	SalePre 08	34.2378	EntraDistr 08	34.2378	SaleDistr 08	21.7854
9	EntraPre 09	28.7641	SalePre 09	34.2946	EntraDistr 09	34.2946	SaleDistr 09	21.7458
10	EntraPre 10	28.9189	SalePre 10	34.4174	EntraDistr 10	34.4174	SaleDistr 10	21.7732
11	EntraPre 11	29.0017	SalePre 11	34.5	EntraDistr 11	34.5	SaleDistr 11	21.779
12	EntraPre 12	29.0858	SalePre 12	34.5223	EntraDistr 12	34.5223	SaleDistr 12	21.7889
13	EntraPre 13	29.1782	SalePre 13	34.5527	EntraDistr 13	34.5527	SaleDistr 13	21.7482
14	EntraPre 14	29.2328	SalePre 14	34.5827	EntraDistr 14	34.5827	SaleDistr 14	21.742
15	EntraPre 15	29.2294	SalePre 15	34.5752	EntraDistr 15	34.5752	SaleDistr 15	21.739
16	EntraPre 16	29.3345	SalePre 16	34.566	EntraDistr 16	34.566	SaleDistr 16	21.7549
17	EntraPre 17	29.6598	SalePre 17	34.5812	EntraDistr 17	34.5812	SaleDistr 17	21.7906
18	EntraPre 18	30.379	SalePre 18	34.4352	EntraDistr 18	34.4352	SaleDistr 18	21.7835
19	EntraPre 19	29.7861	SalePre 19	33.0879	EntraDistr 19	33.0879	SaleDistr 19	21.7264
20	EntraPre 20	28.7153	SalePre 20	34.2428	EntraDistr 20	34.2428	SaleDistr 20	21.7682
Promedio	EntraPre Prom	28.4613	Sale Pre Prom	34.309	EntraDistr Prom	34.309	SaleDistr Prom	21.7366

Variación theta cámara sola vs PRE

Número	Variación theta cámara sola vs PRE							
	EntraPre	Δ Theta	SalePre	Δ Theta	EntraDistr	Δ Theta	SaleDistr	Δ Theta
1	EntraPre 01	-5.467	SalePre 01	0.751	EntraDistr 01	0.751	SaleDistr 01	2.257
2	EntraPre 02	-3.003	SalePre 02	3.103	EntraDistr 02	3.103	SaleDistr 02	3.486
3	EntraPre 03	-0.809	SalePre 03	4.604	EntraDistr 03	4.604	SaleDistr 03	4.490
4	EntraPre 04	0.635	SalePre 04	5.328	EntraDistr 04	5.328	SaleDistr 04	4.875
5	EntraPre 05	1.642	SalePre 05	5.493	EntraDistr 05	5.493	SaleDistr 05	4.861
6	EntraPre 06	2.063	SalePre 06	5.232	EntraDistr 06	5.232	SaleDistr 06	4.500
7	EntraPre 07	2.293	SalePre 07	4.958	EntraDistr 07	4.958	SaleDistr 07	4.172
8	EntraPre 08	1.923	SalePre 08	4.586	EntraDistr 08	4.586	SaleDistr 08	3.974
9	EntraPre 09	1.750	SalePre 09	4.241	EntraDistr 09	4.241	SaleDistr 09	3.652
10	EntraPre 10	1.563	SalePre 10	3.982	EntraDistr 10	3.982	SaleDistr 10	3.368
11	EntraPre 11	1.759	SalePre 11	3.769	EntraDistr 11	3.769	SaleDistr 11	3.062
12	EntraPre 12	1.381	SalePre 12	3.522	EntraDistr 12	3.522	SaleDistr 12	2.804
13	EntraPre 13	0.879	SalePre 13	3.209	EntraDistr 13	3.209	SaleDistr 13	2.703
14	EntraPre 14	0.941	SalePre 14	3.001	EntraDistr 14	3.001	SaleDistr 14	2.362
15	EntraPre 15	0.919	SalePre 15	2.755	EntraDistr 15	2.755	SaleDistr 15	1.850
16	EntraPre 16	0.879	SalePre 16	2.181	EntraDistr 16	2.181	SaleDistr 16	1.112
17	EntraPre 17	0.768	SalePre 17	1.274	EntraDistr 17	1.274	SaleDistr 17	0.535
18	EntraPre 18	-0.394	SalePre 18	0.432	EntraDistr 18	0.432	SaleDistr 18	-0.030
19	EntraPre 19	-1.628	SalePre 19	-0.346	EntraDistr 19	-0.346	SaleDistr 19	-0.081
20	EntraPre 20	-0.802	SalePre 20	0.351	EntraDistr 20	0.351	SaleDistr 20	0.742
Promedio	EntraPre Prom	-0.002	Sale Pre Prom	3.097	EntraDistr Prom	3.097	SaleDistr Prom	2.648

Variación theta PRE vs DISTRI

Número	Variación theta PRE vs DISTRI							
	EntraPre	Δ Theta	SalePre	Δ Theta	EntraDistr	Δ Theta	SaleDistr	Δ Theta
1	EntraPre 01	-0.100	SalePre 01	1.674	EntraDistr 01	1.674	SaleDistr 01	-11.149
2	EntraPre 02	-0.249	SalePre 02	1.513	EntraDistr 02	1.513	SaleDistr 02	-10.973
3	EntraPre 03	-0.148	SalePre 03	1.490	EntraDistr 03	1.490	SaleDistr 03	-10.872
4	EntraPre 04	-0.006	SalePre 04	1.317	EntraDistr 04	1.317	SaleDistr 04	-10.809
5	EntraPre 05	0.155	SalePre 05	1.250	EntraDistr 05	1.250	SaleDistr 05	-10.739
6	EntraPre 06	0.309	SalePre 06	1.425	EntraDistr 06	1.425	SaleDistr 06	-10.753
7	EntraPre 07	0.504	SalePre 07	1.515	EntraDistr 07	1.515	SaleDistr 07	-10.813
8	EntraPre 08	0.647	SalePre 08	1.541	EntraDistr 08	1.541	SaleDistr 08	-11.037
9	EntraPre 09	0.648	SalePre 09	1.470	EntraDistr 09	1.470	SaleDistr 09	-11.139
10	EntraPre 10	0.634	SalePre 10	1.567	EntraDistr 10	1.567	SaleDistr 10	-11.112
11	EntraPre 11	0.583	SalePre 11	1.657	EntraDistr 11	1.657	SaleDistr 11	-11.156
12	EntraPre 12	0.630	SalePre 12	1.651	EntraDistr 12	1.651	SaleDistr 12	-11.233
13	EntraPre 13	0.600	SalePre 13	1.613	EntraDistr 13	1.613	SaleDistr 13	-11.274
14	EntraPre 14	0.568	SalePre 14	1.606	EntraDistr 14	1.606	SaleDistr 14	-11.250
15	EntraPre 15	0.420	SalePre 15	1.544	EntraDistr 15	1.544	SaleDistr 15	-11.235
16	EntraPre 16	0.431	SalePre 16	1.554	EntraDistr 16	1.554	SaleDistr 16	-11.257
17	EntraPre 17	0.434	SalePre 17	1.509	EntraDistr 17	1.509	SaleDistr 17	-11.174
18	EntraPre 18	0.332	SalePre 18	1.403	EntraDistr 18	1.403	SaleDistr 18	-10.694
19	EntraPre 19	-0.261	SalePre 19	1.415	EntraDistr 19	1.415	SaleDistr 19	-10.625
20	EntraPre 20	0.050	SalePre 20	1.462	EntraDistr 20	1.462	SaleDistr 20	-11.092
Promedio	EntraPre Prom	0.480	Sale Pre Prom	1.325	EntraDistr Prom	1.325	SaleDistr Prom	-11.014

ANEXO 3

Theta apertura 16°

Número	EntraPre	Theta	SalePre	Theta	EntraDistr	Theta	SaleDistr	Theta
1	EntraPre 01	29.0102	SalePre 01	37.6495	EntraDistr 01	37.6495	SaleDistr 01	14.2616
2	EntraPre 02	27.7771	SalePre 02	37.3076	EntraDistr 02	37.3076	SaleDistr 02	14.2007
3	EntraPre 03	27.8798	SalePre 03	37.1752	EntraDistr 03	37.1752	SaleDistr 03	14.1799
4	EntraPre 04	28.661	SalePre 04	36.6223	EntraDistr 04	36.6223	SaleDistr 04	14.1089
5	EntraPre 05	30.8534	SalePre 05	36.852	EntraDistr 05	36.852	SaleDistr 05	14.3007
6	EntraPre 06	33.4343	SalePre 06	37.3864	EntraDistr 06	37.3864	SaleDistr 06	14.3237
7	EntraPre 07	35.8564	SalePre 07	37.8041	EntraDistr 07	37.8041	SaleDistr 07	14.3313
8	EntraPre 08	37.7133	SalePre 08	38.159	EntraDistr 08	38.159	SaleDistr 08	14.3472
9	EntraPre 09	38.8302	SalePre 09	38.425	EntraDistr 09	38.425	SaleDistr 09	14.2448
10	EntraPre 10	39.2897	SalePre 10	38.4098	EntraDistr 10	38.4098	SaleDistr 10	14.3289
11	EntraPre 11	39.4594	SalePre 11	38.5893	EntraDistr 11	38.5893	SaleDistr 11	14.2724
12	EntraPre 12	39.2811	SalePre 12	38.5626	EntraDistr 12	38.5626	SaleDistr 12	14.2795
13	EntraPre 13	39.1923	SalePre 13	38.5801	EntraDistr 13	38.5801	SaleDistr 13	14.1875
14	EntraPre 14	39.3596	SalePre 14	38.5014	EntraDistr 14	38.5014	SaleDistr 14	14.2129
15	EntraPre 15	39.7781	SalePre 15	38.5538	EntraDistr 15	38.5538	SaleDistr 15	14.2129
16	EntraPre 16	40.4428	SalePre 16	38.6124	EntraDistr 16	38.6124	SaleDistr 16	14.2425
17	EntraPre 17	41.7852	SalePre 17	38.4674	EntraDistr 17	38.4674	SaleDistr 17	14.2751
18	EntraPre 18	42.1031	SalePre 18	37.8448	EntraDistr 18	37.8448	SaleDistr 18	14.2774
19	EntraPre 19	40.5757	SalePre 19	35.4143	EntraDistr 19	35.4143	SaleDistr 19	14.1951
20	EntraPre 20	30.3037	SalePre 20	36.1523	EntraDistr 20	36.1523	SaleDistr 20	14.2551
Promedio	EntraPre Prom	35.6849	Sale Pre Prom	37.7389	EntraDistr Prom	37.7389	SaleDistr Prom	14.2559

Theta apertura 19.5°

Número	EntraPre	Theta	SalePre	Theta	EntraDistr	Theta	SaleDistr	Theta
1	EntraPre 01	28.7293	SalePre 01	35.9713	EntraDistr 01	35.9713	SaleDistr 01	16.6716
2	EntraPre 02	26.7517	SalePre 02	35.5318	EntraDistr 02	35.5318	SaleDistr 02	16.6479
3	EntraPre 03	26.3282	SalePre 03	35.3519	EntraDistr 03	35.3519	SaleDistr 03	16.6608
4	EntraPre 04	26.317	SalePre 04	34.913	EntraDistr 04	34.913	SaleDistr 04	16.6611
5	EntraPre 05	26.6748	SalePre 05	34.8677	EntraDistr 05	34.8677	SaleDistr 05	16.7458
6	EntraPre 06	27.2511	SalePre 06	35.0242	EntraDistr 06	35.0242	SaleDistr 06	16.7931
7	EntraPre 07	27.9034	SalePre 07	35.1271	EntraDistr 07	35.1271	SaleDistr 07	16.7954
8	EntraPre 08	28.4478	SalePre 08	35.291	EntraDistr 08	35.291	SaleDistr 08	16.78
9	EntraPre 09	28.8076	SalePre 09	35.3963	EntraDistr 09	35.3963	SaleDistr 09	16.7502
10	EntraPre 10	29.013	SalePre 10	35.4884	EntraDistr 10	35.4884	SaleDistr 10	16.7775
11	EntraPre 11	28.9571	SalePre 11	35.5612	EntraDistr 11	35.5612	SaleDistr 11	16.7982
12	EntraPre 12	28.8916	SalePre 12	35.5913	EntraDistr 12	35.5913	SaleDistr 12	16.7614
13	EntraPre 13	28.9375	SalePre 13	35.5396	EntraDistr 13	35.5396	SaleDistr 13	16.7469
14	EntraPre 14	29.065	SalePre 14	35.5217	EntraDistr 14	35.5217	SaleDistr 14	16.7055
15	EntraPre 15	29.2519	SalePre 15	35.5591	EntraDistr 15	35.5591	SaleDistr 15	16.7563
16	EntraPre 16	29.44	SalePre 16	35.5665	EntraDistr 16	35.5665	SaleDistr 16	16.8013
17	EntraPre 17	29.8632	SalePre 17	35.6399	EntraDistr 17	35.6399	SaleDistr 17	16.7979
18	EntraPre 18	30.6984	SalePre 18	35.4894	EntraDistr 18	35.4894	SaleDistr 18	16.7317
19	EntraPre 19	30.3504	SalePre 19	33.8814	EntraDistr 19	33.8814	SaleDistr 19	16.7041
20	EntraPre 20	29.0824	SalePre 20	34.9902	EntraDistr 20	34.9902	SaleDistr 20	16.8065
Promedio	EntraPre Prom	28.5314	Sale Pre Prom	35.3107	EntraDistr Prom	35.3107	SaleDistr Prom	16.7466

Theta apertura 22°

Número	EntraPre	Theta	SalePre	Theta	EntraDistr	Theta	SaleDistr	Theta
1	EntraPre 01	28.961	SalePre 01	37.0603	EntraDistr 01	37.0603	SaleDistr 01	19.1175
2	EntraPre 02	27.8404	SalePre 02	36.8766	EntraDistr 02	36.8766	SaleDistr 02	19.0306
3	EntraPre 03	27.9301	SalePre 03	36.7398	EntraDistr 03	36.7398	SaleDistr 03	18.8852
4	EntraPre 04	28.6445	SalePre 04	36.1575	EntraDistr 04	36.1575	SaleDistr 04	19.009
5	EntraPre 05	30.8375	SalePre 05	36.5057	EntraDistr 05	36.5057	SaleDistr 05	19.0899
6	EntraPre 06	33.2518	SalePre 06	36.932	EntraDistr 06	36.932	SaleDistr 06	19.14
7	EntraPre 07	35.5986	SalePre 07	37.4068	EntraDistr 07	37.4068	SaleDistr 07	19.0469
8	EntraPre 08	37.308	SalePre 08	37.5983	EntraDistr 08	37.5983	SaleDistr 08	19.0562
9	EntraPre 09	38.5203	SalePre 09	37.8804	EntraDistr 09	37.8804	SaleDistr 09	19.0258
10	EntraPre 10	39.082	SalePre 10	37.8669	EntraDistr 10	37.8669	SaleDistr 10	19.1617
11	EntraPre 11	39.2963	SalePre 11	38.0592	EntraDistr 11	38.0592	SaleDistr 11	19.0575
12	EntraPre 12	39.1843	SalePre 12	37.9812	EntraDistr 12	37.9812	SaleDistr 12	19.1517
13	EntraPre 13	39.2948	SalePre 13	38.0724	EntraDistr 13	38.0724	SaleDistr 13	19.0843
14	EntraPre 14	39.6403	SalePre 14	38.0671	EntraDistr 14	38.0671	SaleDistr 14	19.074
15	EntraPre 15	40.1105	SalePre 15	38.0973	EntraDistr 15	38.0973	SaleDistr 15	19.0376
16	EntraPre 16	40.9368	SalePre 16	38.1416	EntraDistr 16	38.1416	SaleDistr 16	19.0825
17	EntraPre 17	42.3597	SalePre 17	38.0626	EntraDistr 17	38.0626	SaleDistr 17	19.1434
18	EntraPre 18	42.4302	SalePre 18	37.4441	EntraDistr 18	37.4441	SaleDistr 18	19.0081
19	EntraPre 19	40.5873	SalePre 19	35.2671	EntraDistr 19	35.2671	SaleDistr 19	19.0012
20	EntraPre 20	30.3025	SalePre 20	35.6577	EntraDistr 20	35.6577	SaleDistr 20	19.033
Promedio	EntraPre Prom	35.7127	Sale Pre Prom	37.2804	EntraDistr Prom	37.2804	SaleDistr Prom	19.0627

Theta apertura 26°

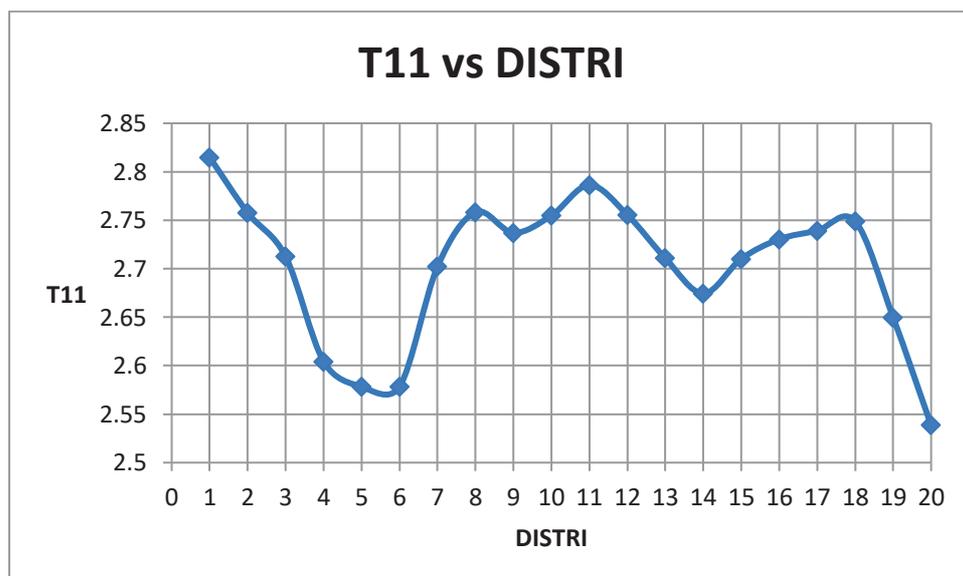
Número	EntraPre	Theta	SalePre	Theta	EntraDistr	Theta	SaleDistr	Theta
1	EntraPre 01	28.6185	SalePre 01	34.842	EntraDistr 01	34.842	SaleDistr 01	21.6635
2	EntraPre 02	26.752	SalePre 02	34.5274	EntraDistr 02	34.5274	SaleDistr 02	21.6844
3	EntraPre 03	26.3088	SalePre 03	34.3663	EntraDistr 03	34.3663	SaleDistr 03	21.6488
4	EntraPre 04	26.2873	SalePre 04	33.968	EntraDistr 04	33.968	SaleDistr 04	21.6304
5	EntraPre 05	26.6697	SalePre 05	33.8476	EntraDistr 05	33.8476	SaleDistr 05	21.7441
6	EntraPre 06	27.271	SalePre 06	33.9327	EntraDistr 06	33.9327	SaleDistr 06	21.8131
7	EntraPre 07	27.9939	SalePre 07	34.0739	EntraDistr 07	34.0739	SaleDistr 07	21.8487
8	EntraPre 08	28.5342	SalePre 08	34.2458	EntraDistr 08	34.2458	SaleDistr 08	21.8129
9	EntraPre 09	28.864	SalePre 09	34.3044	EntraDistr 09	34.3044	SaleDistr 09	21.775
10	EntraPre 10	29.0005	SalePre 10	34.4302	EntraDistr 10	34.4302	SaleDistr 10	21.7996
11	EntraPre 11	29.0592	SalePre 11	34.504	EntraDistr 11	34.504	SaleDistr 11	21.8064
12	EntraPre 12	29.1334	SalePre 12	34.5265	EntraDistr 12	34.5265	SaleDistr 12	21.8177
13	EntraPre 13	29.2198	SalePre 13	34.5556	EntraDistr 13	34.5556	SaleDistr 13	21.7759
14	EntraPre 14	29.2675	SalePre 14	34.5864	EntraDistr 14	34.5864	SaleDistr 14	21.7728
15	EntraPre 15	29.2601	SalePre 15	34.583	EntraDistr 15	34.583	SaleDistr 15	21.7698
16	EntraPre 16	29.3591	SalePre 16	34.5712	EntraDistr 16	34.5712	SaleDistr 16	21.7839
17	EntraPre 17	29.681	SalePre 17	34.5868	EntraDistr 17	34.5868	SaleDistr 17	21.8201
18	EntraPre 18	30.3943	SalePre 18	34.4505	EntraDistr 18	34.4505	SaleDistr 18	21.8171
19	EntraPre 19	29.784	SalePre 19	33.0894	EntraDistr 19	33.0894	SaleDistr 19	21.7529
20	EntraPre 20	28.7194	SalePre 20	34.2523	EntraDistr 20	34.2523	SaleDistr 20	21.7952
Promedio	EntraPre Prom	28.4954	Sale Pre Prom	34.3104	EntraDistr Prom	34.3104	SaleDistr Prom	21.7661

Theta apertura 28°

Número	EntraPre	Theta	SalePre	Theta	EntraDistr	Theta	SaleDistr	Theta
1	EntraPre 01	28.7429	SalePre 01	34.7981	EntraDistr 01	34.7981	SaleDistr 01	24.5088
2	EntraPre 02	26.7988	SalePre 02	34.4115	EntraDistr 02	34.4115	SaleDistr 02	24.4888
3	EntraPre 03	26.3495	SalePre 03	34.2823	EntraDistr 03	34.2823	SaleDistr 03	24.4454
4	EntraPre 04	26.3184	SalePre 04	33.9975	EntraDistr 04	33.9975	SaleDistr 04	24.393
5	EntraPre 05	26.6582	SalePre 05	33.7877	EntraDistr 05	33.7877	SaleDistr 05	24.449
6	EntraPre 06	27.231	SalePre 06	33.9444	EntraDistr 06	33.9444	SaleDistr 06	24.4659
7	EntraPre 07	27.7962	SalePre 07	34.0493	EntraDistr 07	34.0493	SaleDistr 07	24.4848
8	EntraPre 08	28.2885	SalePre 08	34.2059	EntraDistr 08	34.2059	SaleDistr 08	24.5181
9	EntraPre 09	28.5692	SalePre 09	34.2345	EntraDistr 09	34.2345	SaleDistr 09	24.4782
10	EntraPre 10	28.7879	SalePre 10	34.364	EntraDistr 10	34.364	SaleDistr 10	24.5338
11	EntraPre 11	28.7658	SalePre 11	34.3921	EntraDistr 11	34.3921	SaleDistr 11	24.4649
12	EntraPre 12	28.8081	SalePre 12	34.4139	EntraDistr 12	34.4139	SaleDistr 12	24.4779
13	EntraPre 13	28.8829	SalePre 13	34.4459	EntraDistr 13	34.4459	SaleDistr 13	24.529
14	EntraPre 14	29.0279	SalePre 14	34.4919	EntraDistr 14	34.4919	SaleDistr 14	24.4844
15	EntraPre 15	29.1293	SalePre 15	34.4607	EntraDistr 15	34.4607	SaleDistr 15	24.4844
16	EntraPre 16	29.2717	SalePre 16	34.4739	EntraDistr 16	34.4739	SaleDistr 16	24.5303
17	EntraPre 17	29.717	SalePre 17	34.544	EntraDistr 17	34.544	SaleDistr 17	24.5548
18	EntraPre 18	30.4884	SalePre 18	34.4241	EntraDistr 18	34.4241	SaleDistr 18	24.4865
19	EntraPre 19	29.8403	SalePre 19	33.2274	EntraDistr 19	33.2274	SaleDistr 19	24.5011
20	EntraPre 20	28.8287	SalePre 20	34.0019	EntraDistr 20	34.0019	SaleDistr 20	24.4672
Promedio	EntraPre Prom	28.4056	Sale Pre Prom	34.244	EntraDistr Prom	34.244	SaleDistr Prom	24.4858

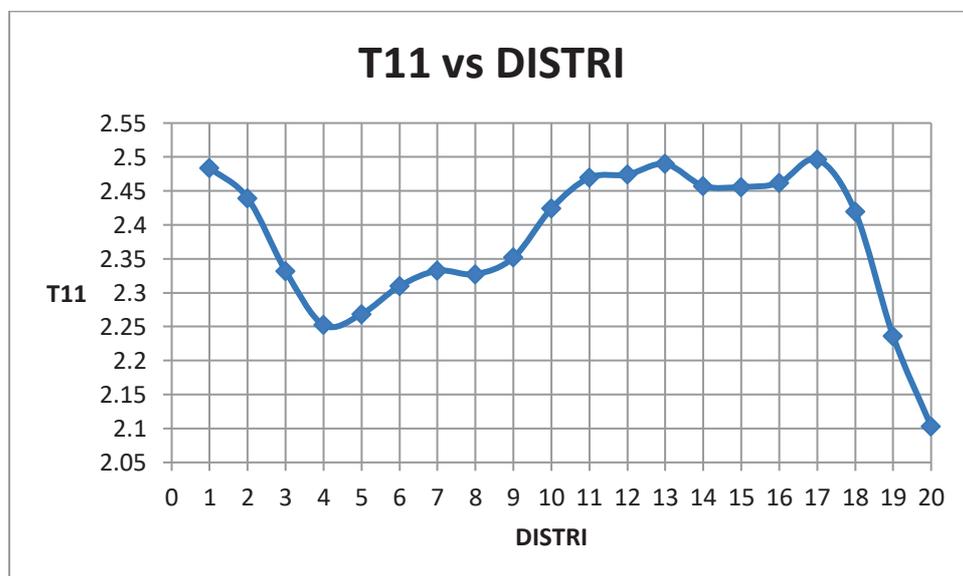
ANEXO 4**Torque - 16°**

DISTR1	TORQUE [Nm]	T11
1	2.62661	2.81487
2	2.57328	2.75772
3	2.53107	2.71248
4	2.43018	2.60436
5	2.40588	2.57832
6	2.40588	2.57832
7	2.52147	2.70219
8	2.57382	2.75829
9	2.55398	2.73703
10	2.57052	2.75476
11	2.59993	2.78628
12	2.57119	2.75548
13	2.52946	2.71076
14	2.49555	2.67441
15	2.52891	2.71017
16	2.54781	2.73042
17	2.55604	2.73924
18	2.56507	2.74892
19	2.47261	2.64983
20	2.36881	2.53859
Promedio	2.5214035	2.70212



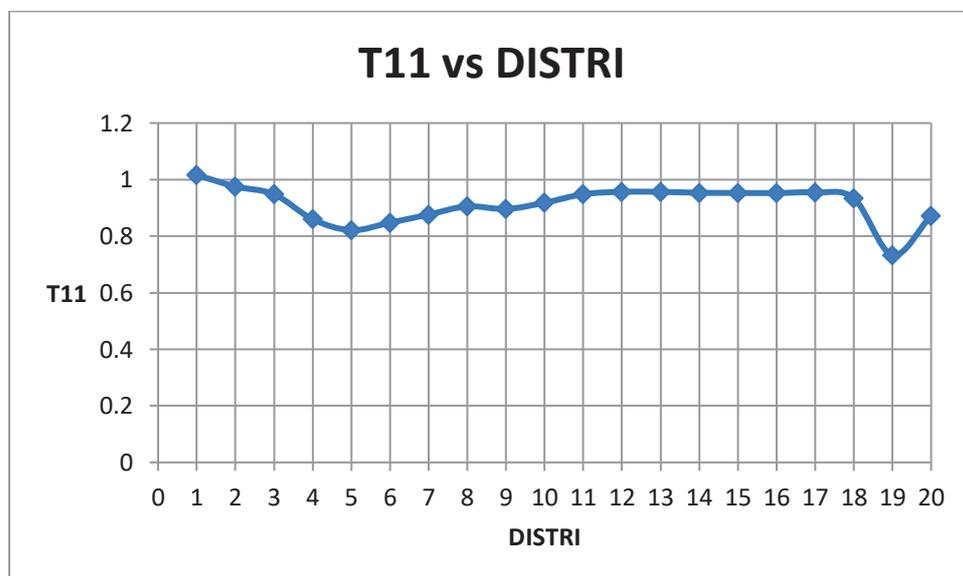
Torque - 22°

DISTR1	TORQUE [Nm]	T11
1	2.31774	2.48386
2	2.27614	2.43928
3	2.17608	2.33205
4	2.10185	2.2525
5	2.11684	2.26856
6	2.15523	2.3097
7	2.17644	2.33243
8	2.17171	2.32736
9	2.1945	2.35179
10	2.26189	2.42401
11	2.30427	2.46943
12	2.30857	2.47403
13	2.32317	2.48968
14	2.29302	2.45737
15	2.2916	2.45585
16	2.29733	2.46199
17	2.32939	2.49635
18	2.25752	2.41932
19	2.08659	2.23614
20	1.96258	2.10325
Promedio	2.220123	2.37925



Torque - 26°

DISTRI	TORQUE [Nm]	T11
1	0.948368	1.01634
2	0.910232	0.97547
3	0.884706	0.94812
4	0.802173	0.85967
5	0.766207	0.82112
6	0.790915	0.8476
7	0.817894	0.87652
8	0.844934	0.90549
9	0.835985	0.8959
10	0.856893	0.91831
11	0.884888	0.94831
12	0.892853	0.95685
13	0.892675	0.95666
14	0.889721	0.95349
15	0.88903	0.95275
16	0.888784	0.95249
17	0.890354	0.95417
18	0.87152	0.93398
19	0.684296	0.73334
20	0.814034	0.87238
Promedio	0.8528231	0.91395



Torque - 28°

DISTRIB	TORQUE [Nm]	T11
1	0.592461	0.63492477
2	0.528546	0.56642876
3	0.495622	0.53114498
4	0.434509	0.46565179
5	0.387734	0.41552426
6	0.434724	0.46588822
7	0.446242	0.47822574
8	0.482882	0.51749186
9	0.471661	0.50546661
10	0.487876	0.52284379
11	0.503769	0.5398759
12	0.496851	0.53246206
13	0.524141	0.56170803
14	0.524797	0.56241105
15	0.508377	0.54481417
16	0.527348	0.56514489
17	0.535043	0.57339142
18	0.493546	0.52892018
19	0.304943	0.32679934
20	0.407263	0.43645297
Promedio	0.47941675	0.51377824

