

## **1 ANEXO J SIMULACIONES NUMÉRICAS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Seleccionar el perfil de la pala empleando de modelos virtuales CAD y CAE, como herramientas adecuadas para simular el fenómeno al que están sometidas las palas en el agua.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1.2.1** Identificar el cambio de la velocidad del agua antes y después de pasar por cada pala.
- 1.2.2** Conocer la fuerza de reacción en cada pala e identificar la fuerza total en cada modelo, según su configuración.
- 1.2.3** Comparar los resultados de las simulaciones con los datos experimentales y teóricos, para validar su confiabilidad.

### **1.3 DESCRIPCIÓN**

Para las simulaciones se emplearon los softwares: Pro-e y ANSYS CFX. El primero fue empleado para crear los modelo cad y el segundo para simular las condiciones del fluido similares a las de la prueba simple de prueba #2 (Ver Anexo F), con el fin de tener un punto de referencia entre los modelos experimentales y los modelos virtuales.

De esta manera se analizaron 12 modelos, con diferentes perfiles de palas, formas generadas en las sesiones de grupo basadas en perfiles con alto coeficiente de arrastre (Ver Anexo D, Ilustración 6). Las dimensiones de los modelos se hicieron basadas en el modelo analítico de turbinas de impulso (Ver Anexo E). Además para simular las condiciones experimentales en el modelo cad se incluyó un volumen de control de agua con las dimensiones del canal en el que se realizaron las pruebas simples, en el que se “sumergió” el modelo la longitud equivalente al cabezal de presión (Ver Anexo E, modelo analítico técnico).

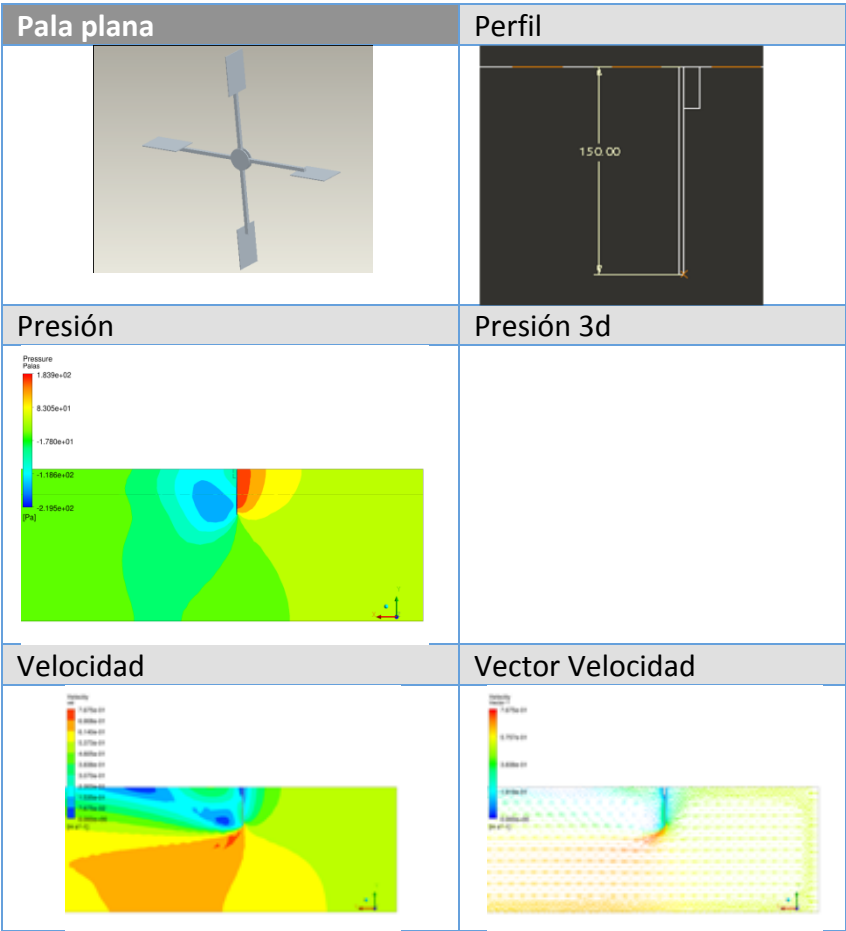
1.4 RESULTADOS

Por medio del análisis numérico se obtuvieron dos tipos de resultados: las ilustraciones y los valores de fuerza y velocidad.

1.5 ILUSTRACIONES

A continuación se presentan cuatro tipos de ilustraciones por medio de las cuales se puede apreciar las variaciones de velocidad y fuerza en cada pala. Por medio de estas ilustraciones fue posible identificar la ventajas y desventajas de utilizar determinado tipo de perfil.

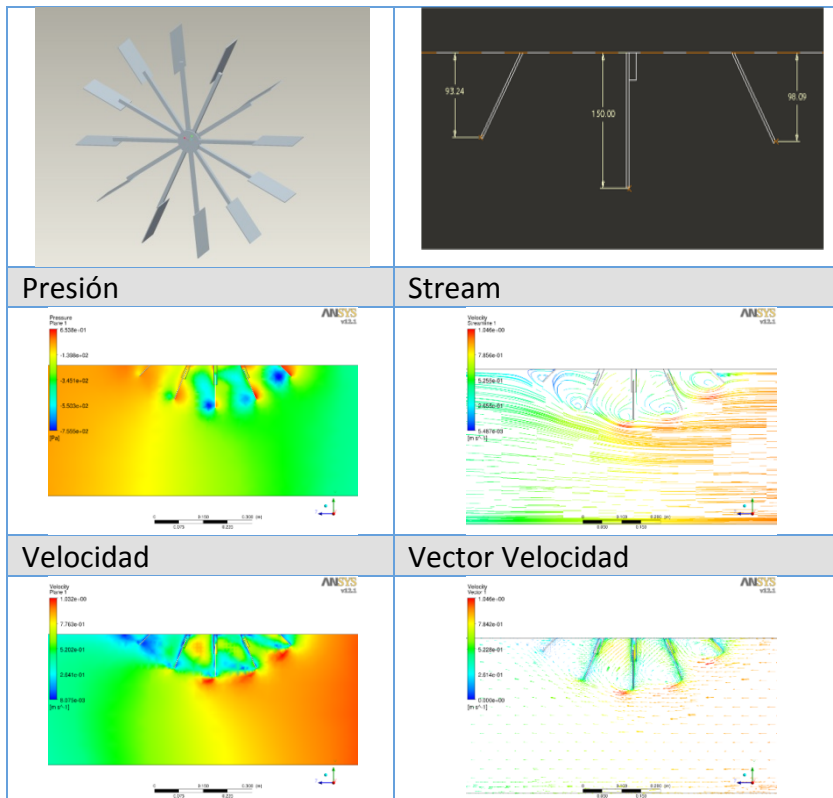
1.5.1 Modelo 1.  
Ilustración 1. Gráficos modelo 1.



Fuente. Elaboración propia.

1.5.2 Modelo 2.  
Ilustración 2. Gráficos modelo 2.

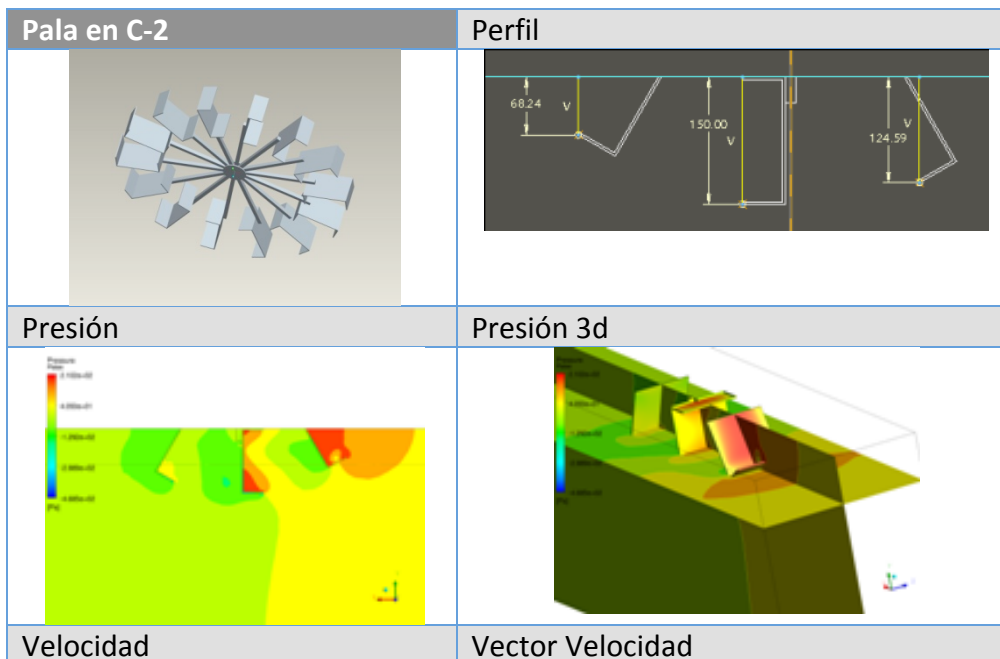
Pala Plana 12	Perfil
---------------	--------

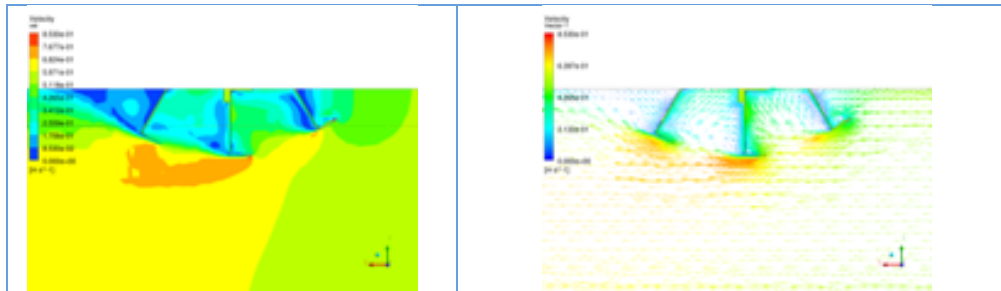


Fuente. Elaboración propia.

### 1.5.3 Modelo 3.

Ilustración 3. Gráficos modelo 3.

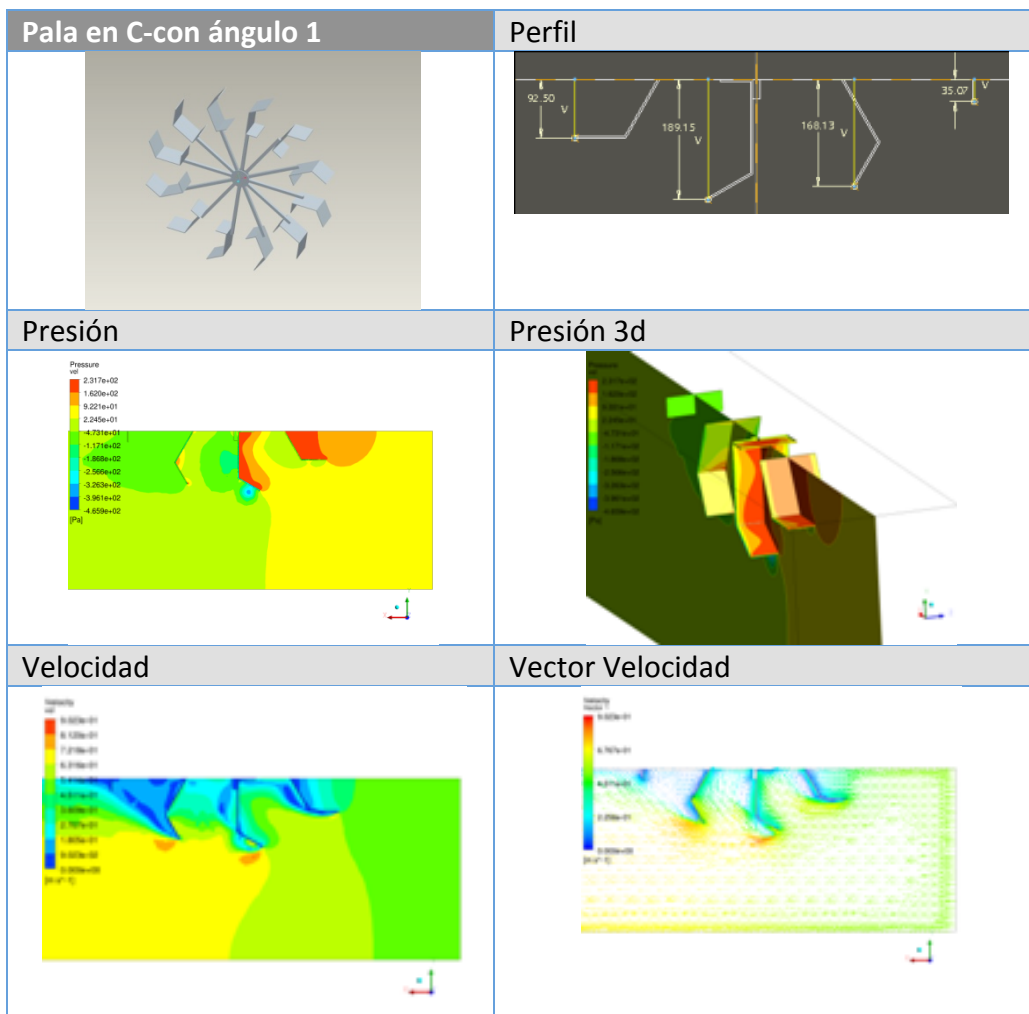




Fuente. Elaboración propia.

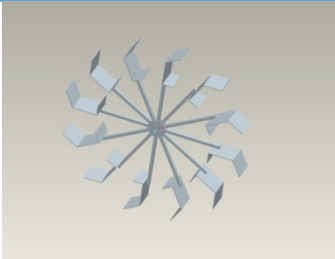
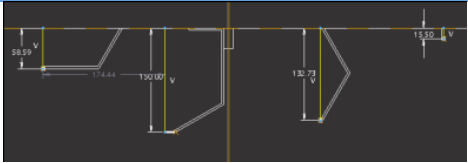
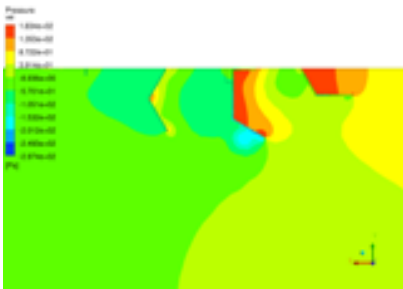
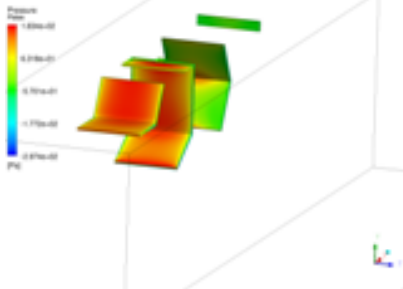
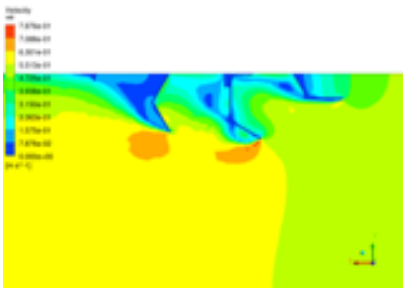
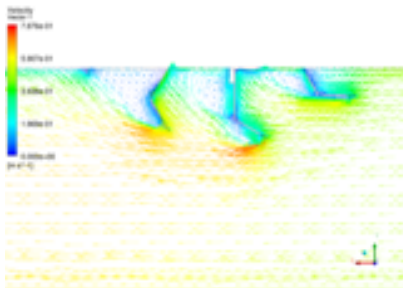
#### 1.5.4 Modelo 4.

Ilustración 4. Gráficos modelo 4.



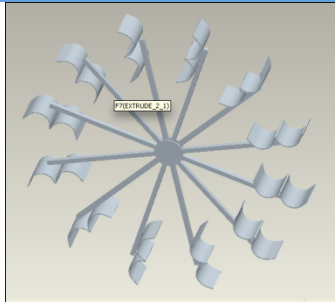
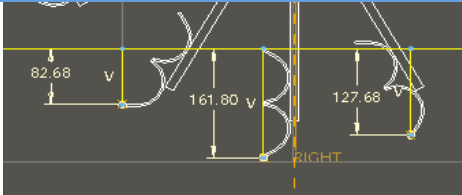
Fuente. Elaboración propia.

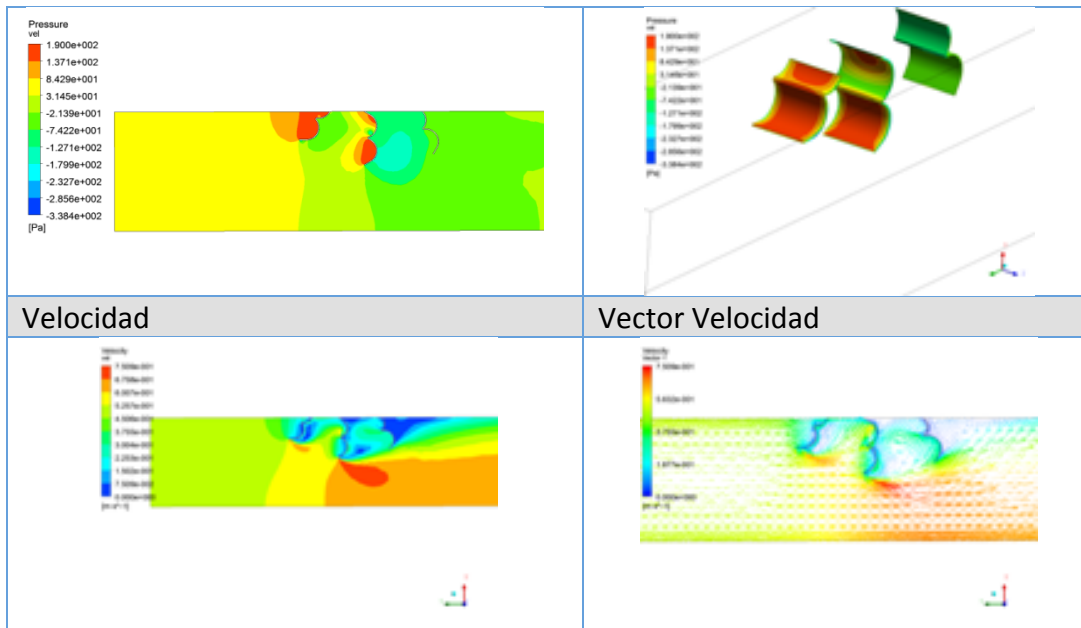
1.5.5    Modelo 5.  
 Ilustración 5. Gráficos modelo 5.

Pala en C-con ángulo 2	Perfil
	
Presión	Presión 3d
	
Velocidad	Vector Velocidad
	

Fuente. Elaboración propia.

1.5.6    Modelo 6.  
 Ilustración 5. Gráficos modelo 5.

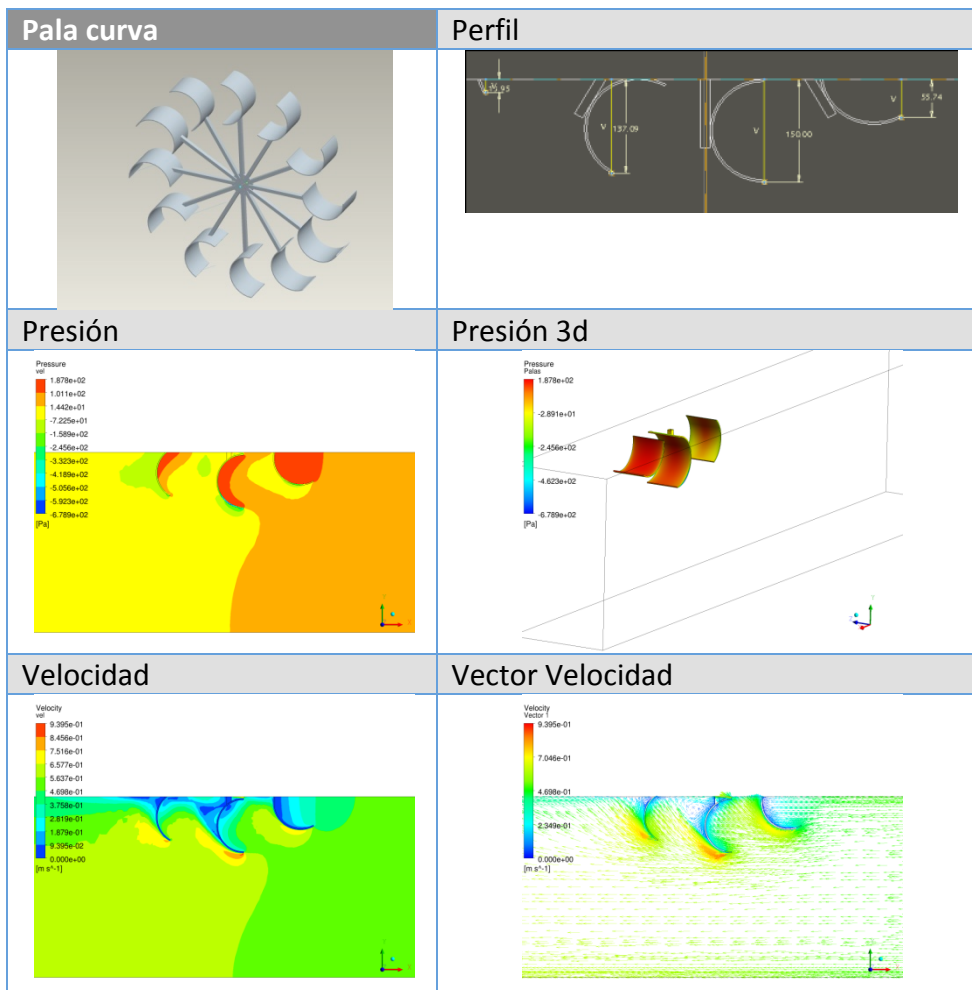
Pala doble curva -12	Perfil
	
Presión	Presión 3d



Fuente. Elaboración propia.

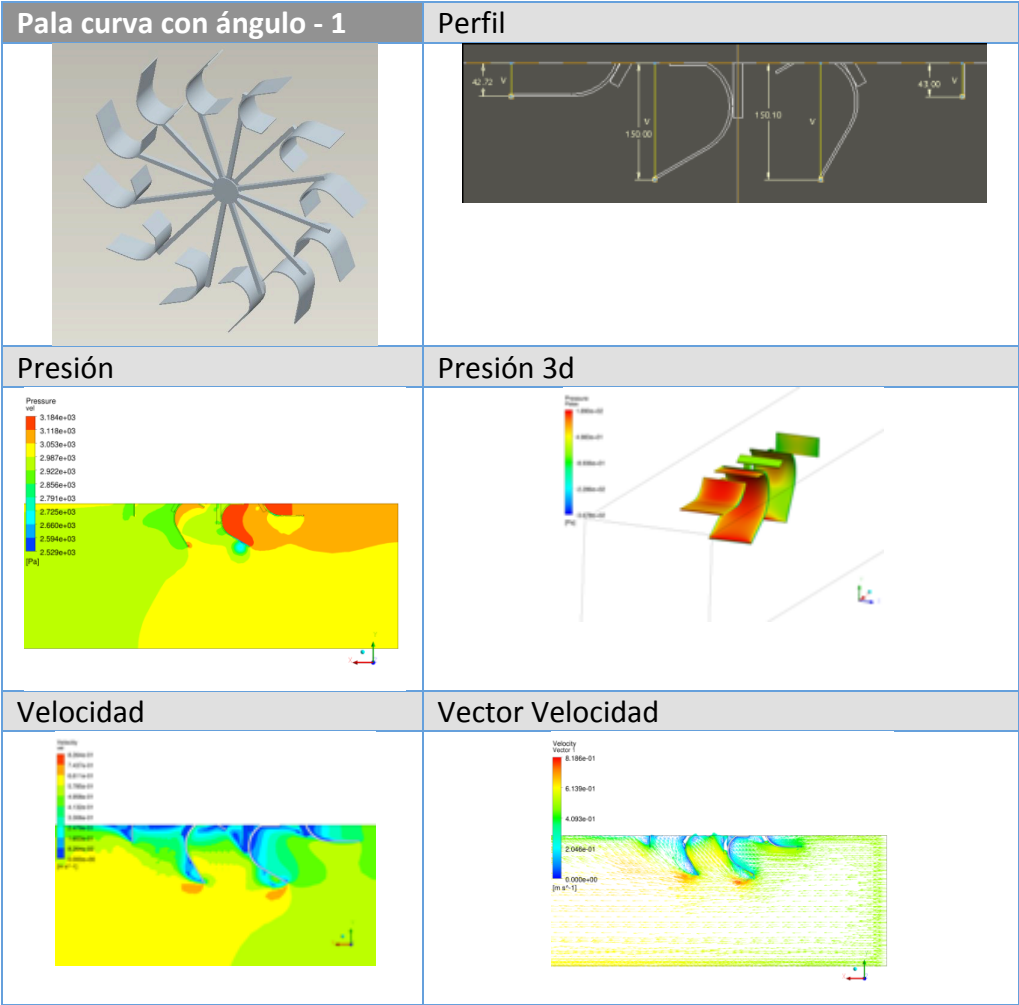
### 1.5.7 Modelo 7.

Ilustración 7. Gráficos modelo 7.



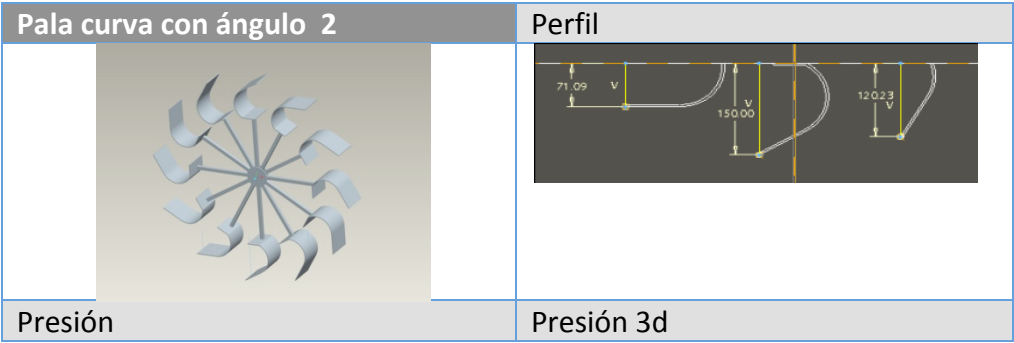
Fuente. Elaboración propia.

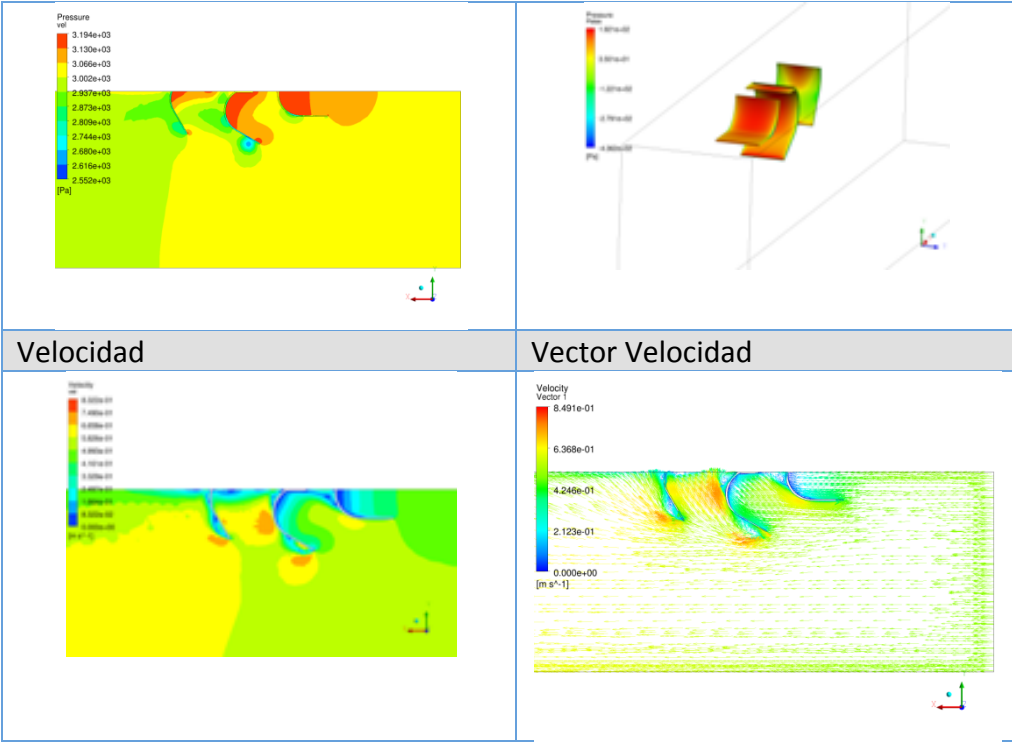
1.5.8    Modelo 8.  
 Lustración 8. Gráficos modelo 8.



Fuente. Elaboración propia.

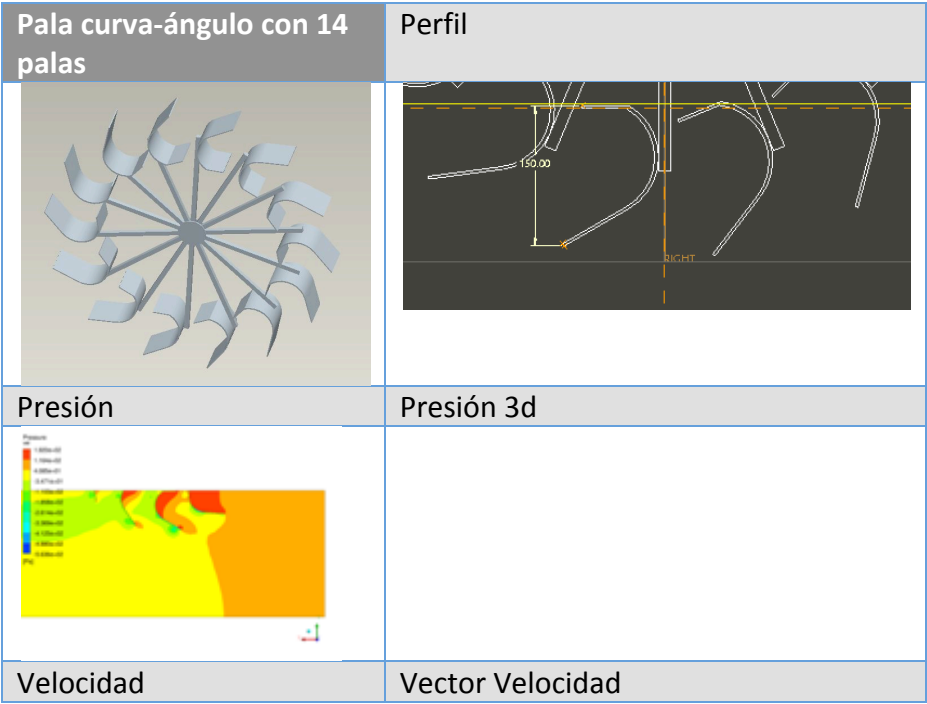
1.5.9    Modelo 9.  
 Ilustración 10. Gráficos modelo 10.



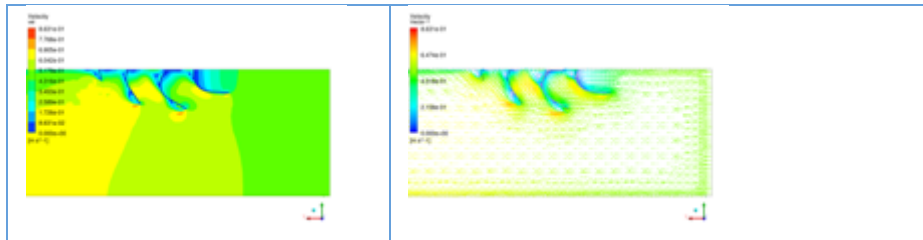


**Fuente.** Elaboración propia.

**1.5.10 Modelo 10.**  
**Ilustración 11. Gráficos modelo 11.**



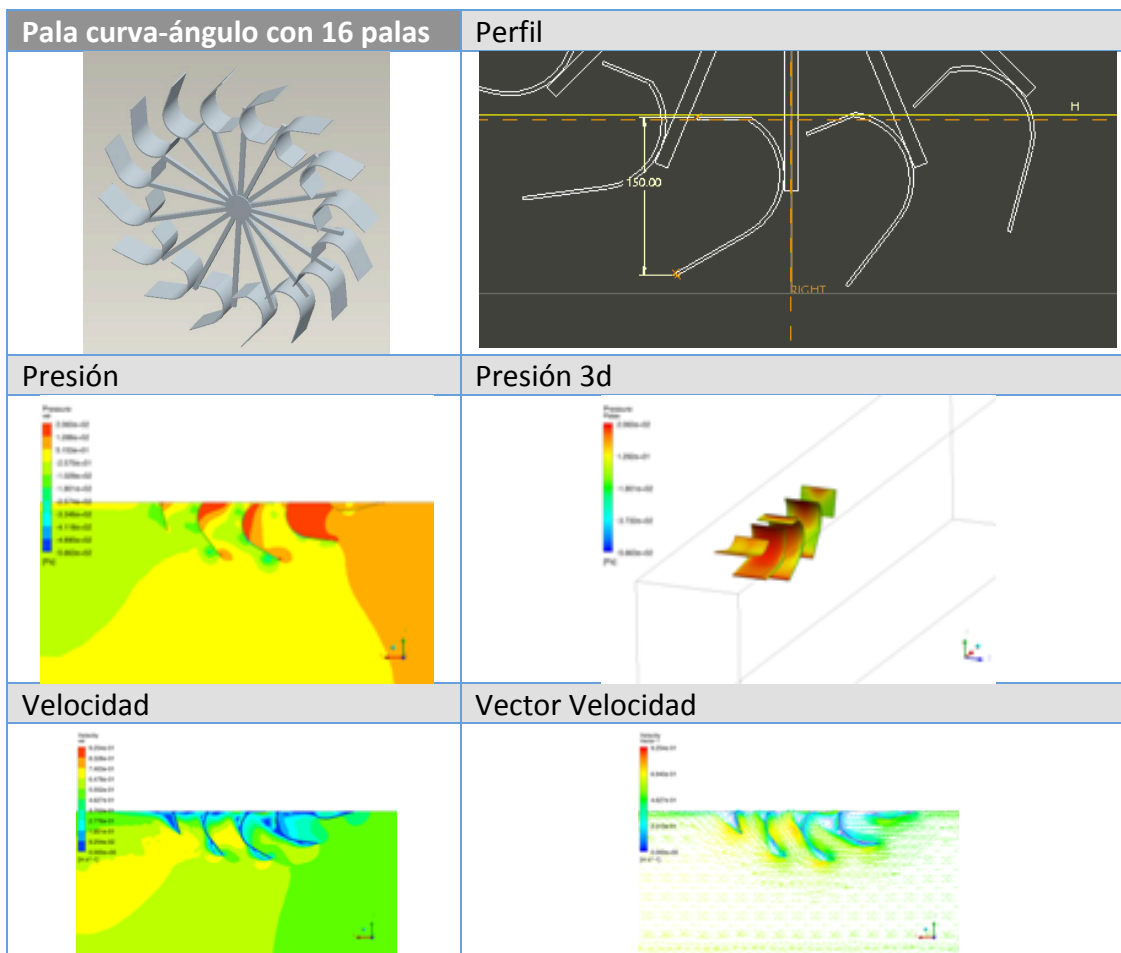




Fuente. Elaboración propia.

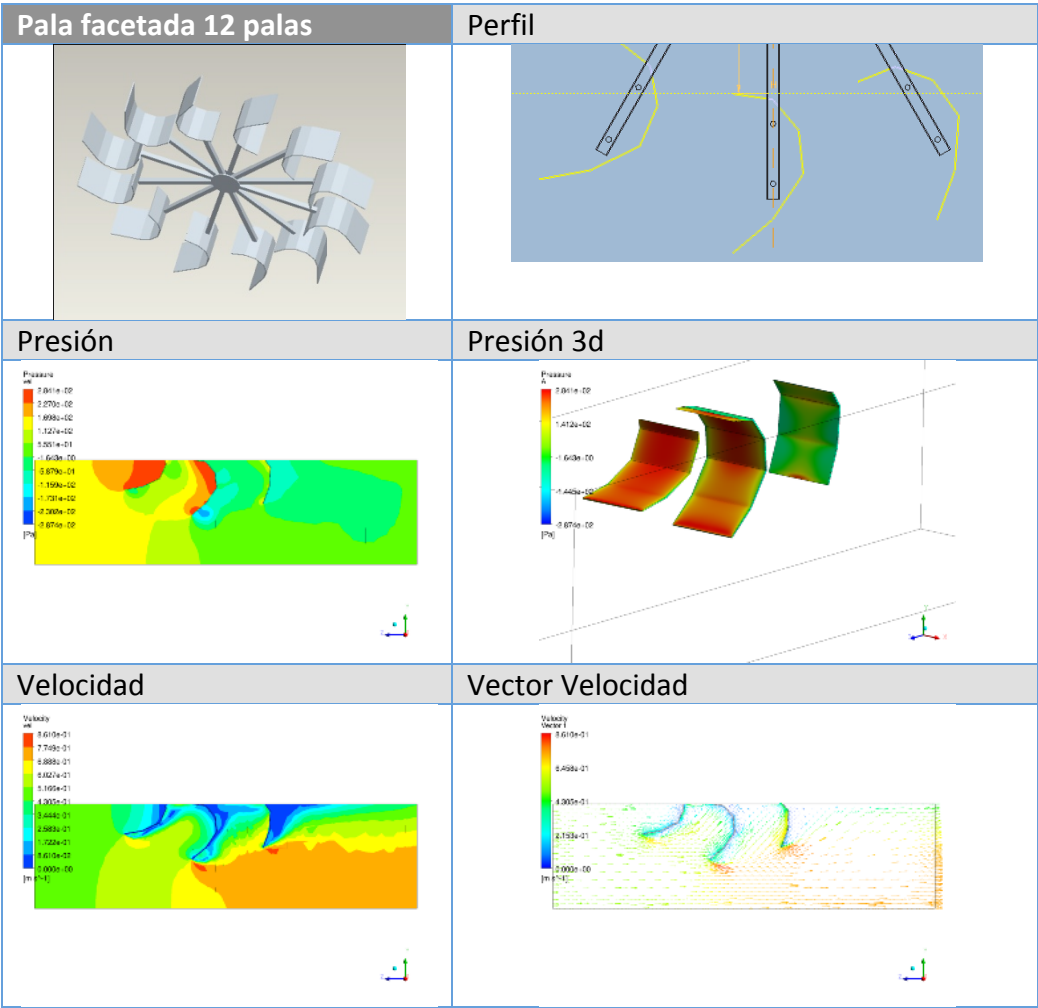
### 1.5.11 Modelo 11.

Ilustración 12. Gráficos modelo 12.



Fuente. Elaboración propia.

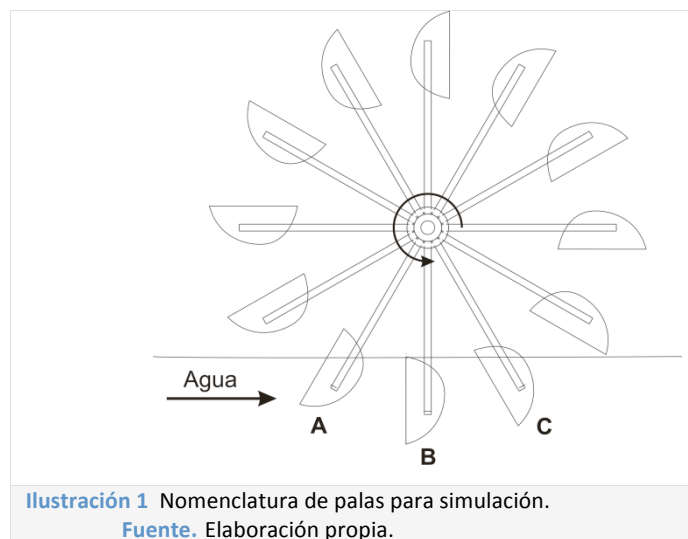
1.5.12 Modelo 12.  
Ilustración 12. Gráficos modelo 12.



Fuente. Elaboración

1.6 VALORES

En las palas de cada modelo se identifico un valor de fuerza de reacción promedio en la cara opuesta a la dirección del fluido, además se identificó la fuerza promedio en la sección sumergida de cada modelo. . Por esta razón, se le dio una nomenclatura a cada pala de acuerdo con el orden en que el fluido impacta cada rotor (Ver Ilustración 1)



**Ilustración 1** Nomenclatura de palas para simulación.

**Fuente.** Elaboración propia.

Tabla 1. Valores de fuerza promedio

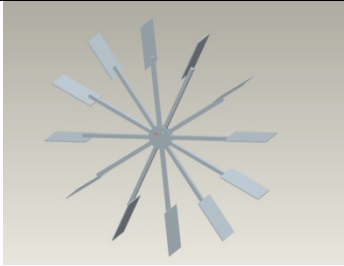
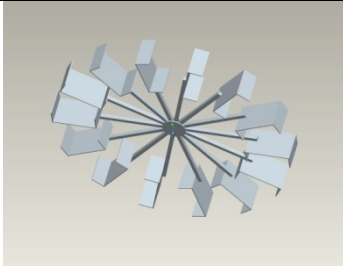
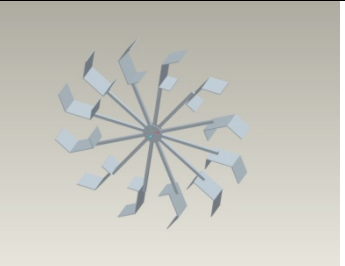
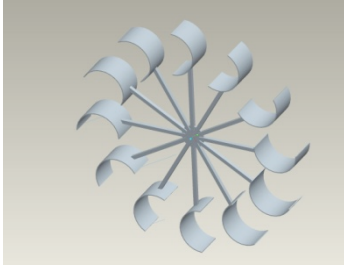
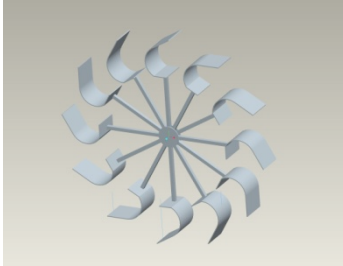
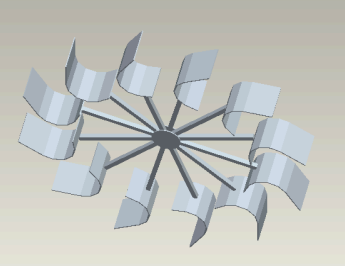
#	Modelos	Numero Nodos (k)	Fuerza (N)															
			ABC	A			B			C			D			E		
			Prom.	F	P	Prom.	F	P	Prom.	F	P	Prom.	F	P	Prom.	F	P	Prom.
1	Pala única	117	-	2,07	1,58	3,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Plana	218	4,91	1,52	0,85	2,30	0,84	1,3	2,23	-0,2	0,58	0,37	-	-	-	-	-	-
3	C	225,7	5,8	1,35	0,6	1,95	1,31	1,31	2,62	0,17	0,81	0,98	-	-	-	-	-	-
4	C ángulo	272	5,6	1,7	0,21	1,91	3,48	1,46	4,94	0,87	0,9	1,77	(0,25)	0,21	(0,04)	-	-	-
5	C_Angulo15	228	5,21	0,80	0,02	0,82	1,76	1,45	3,21	0,07	1,05	1,12	(0,07)	0,07	-	-	-	-
6	Doble_Curva	214	4,88	1,25	0,5	1,75	1,6	1,8	3,40	0,94	0,66	1,60	-	-	-	-	-	-
7	Curva	228	6,1	1,23	0,4	1,63	1,48	1,6	3,08	0,46	1,32	1,78	-	-	-	-	-	-
8	Curva Angulo	225	6,25	1,00	0,06	1,06	1,70	1,94	3,64	0,13	1,52	1,65	-	-	-	-	-	-
9	Curva_Angulo2	260	6,33	0,60	(0,08)	0,52	1,97	1,50	3,47	0,33	1,68	2,01	(0,10)	0,36	0,26	-	-	-
10	Curva ángulo 14	244	7,32	1,38	0,25	1,63	1,64	1,72	3,36	1,59	0,34	1,93	(0,11)	0,42	0,31	-	-	-
11	Curva ángulo 16	272	7,82	(0,00)	(0,09)	(0,09)	1,62	0,069	1,69	1,55	1,82	3,37	0,54	1,77	2,31	-0,26	0,75	-
12	Facetada	226	6,34	1,00	0,02	1,02	1,7	1,95	3,65	0,15	1,4	1,55	-	-	-	-	-	-

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 2. Valores de velocidad a la entrada y la salida de cada pala

#	Modelos	Velocidad (m/s)														
		A			B			C			D			E		
		Entr.	Sali.	Prom.	Entr.	Sali.	Prom.	Entr.	Sali.	Prom.	Entr.	Sali.	Prom.	Entr.	Sali.	Prom.
1	Pala única	0,22	0,22	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Plana	0,197	0,25	0,2235	0,27	0,14	0,205	0,17	0,06	0,115	-	-	-	-	-	-
3	C	0,29	0,26	0,275	0,35	0,24	0,295	0,18	0,083	0,1315	-	-	-	-	-	-
4	C ángulo	0,25	0,25	0,25	0,32	0,27	0,295	0,34	0,1	0,22	0,06	0,05	0,055	-	-	-
5	C_Angulo15	0,21	0,22	0,215	0,27	0,20	0,235	0,41	0,06	0,235	0,11	0,06	0,085	-	-	-
6	Doble Curva	0,22	0,22	0,22	0,29	0,13	0,21	0,12	0,05	0,085	-	-	-	-	-	-
7	Curva	0,18	0,44	0,31	0,34	0,3	0,32	0,37	0,13	0,25	-	-	-	-	-	-
8	Curva Angulo	0,22	0,36	0,29	0,27	0,38	0,325	0,41	0,23	0,32	-	-	-	-	-	-
9	Curva_Angulo2	0,22	0,33	0,275	0,23	0,21	0,22	0,46	0,15	0,305	0,30	0,15	0,225	-	-	-
10	Curva ángulo 14	0,24	0,39		0,32	0,39		0,42	0,19		0,33	0,19				
11	Curva ángulo 16	0,16	0,35		0,23	0,34		0,36	0,36		0,44	0,36			0,39	0,096
12	Facetada	0,22	0,33		0,28	0,35		0,42	0,2							

Fuente. Elaboración propia.

Simulaciones		
2. Pala recta	3. Pala en C	4. Pala en C con ángulo
		
F= 4,91	F= 5,8	F=5,6
7. Pala curva	8. Pala curva con ángulo	12. Facetada
		
F=6,1	F= 6,45	F=6,34

