4.3.2.3.- APLICACIONES

A continuación se resuelven diversos casos de flujo compresible para turbina en los cuales se compararán los resultados obtenidos con los existentes. La ley usada en todos los ejemplos es la de "torbellino libre", debido a que todos los resultados disponibles emplean esta ley. Los distintos resultados se obtuvieron para uno, dos y tres escalonamientos, utilizando en todos ellos la misma ley torsional.

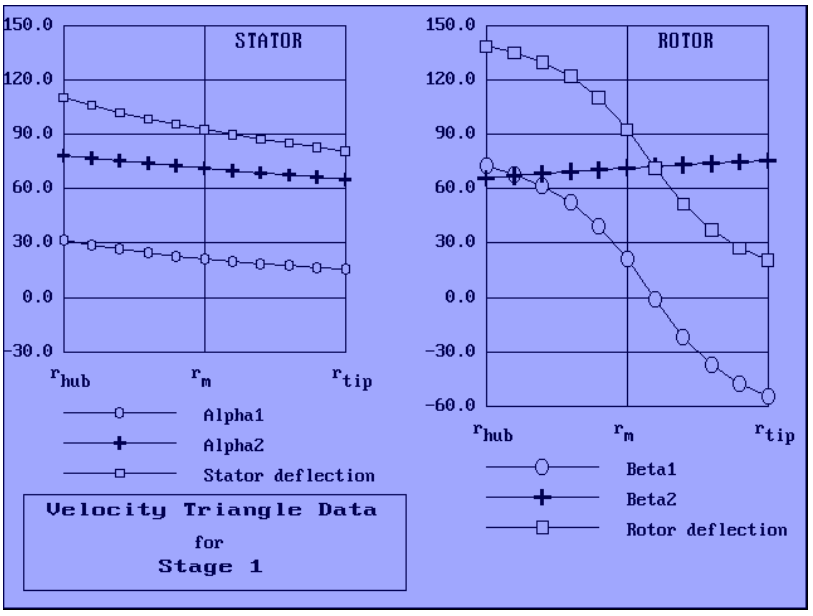
Se mostrarán los ángulos de entrada y salida de cada escalonamiento así como los coeficientes. También se mostrará el número de Mach y la relación de velocidades entre la entrada y la salida.

- Ejemplo 1.- Escalonamiento aislado

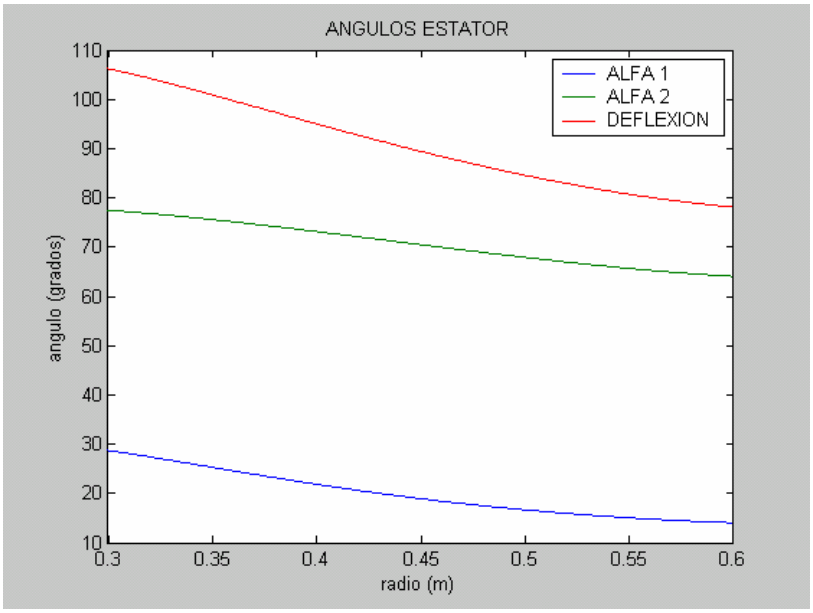
Datos de diseño de entrada:

Radio raíz entrada = 0.3 m
Radio cabeza entrada = 0.6 m
Número de etapas = 1
Relación aspecto álabe = 6.0
Flujo másico = 35 kg/s
Cp/Cv = 1.40
Wescal = 98646 J/Kg

Densidad entrada = 0.375 kg/m^3
Veloc. entrada = 110 m/seg
Tra entrada = 1300 K
Velocidad rotación = 6000.0 r.p.m.
Rendimiento total a total = 92.0 %
R = 287.0 J/kg K
ct2E = (466.7, 311.1, 233.3) m/seg

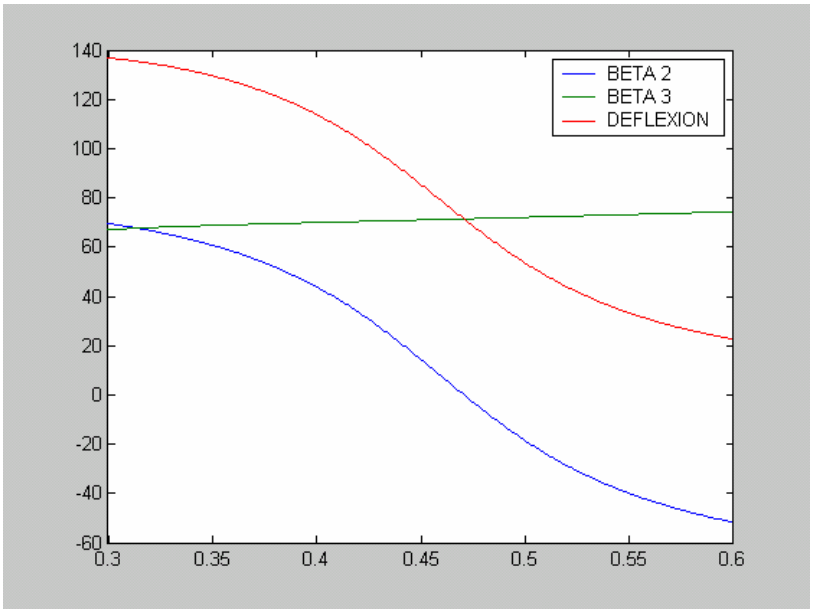


(Figura 1-A)

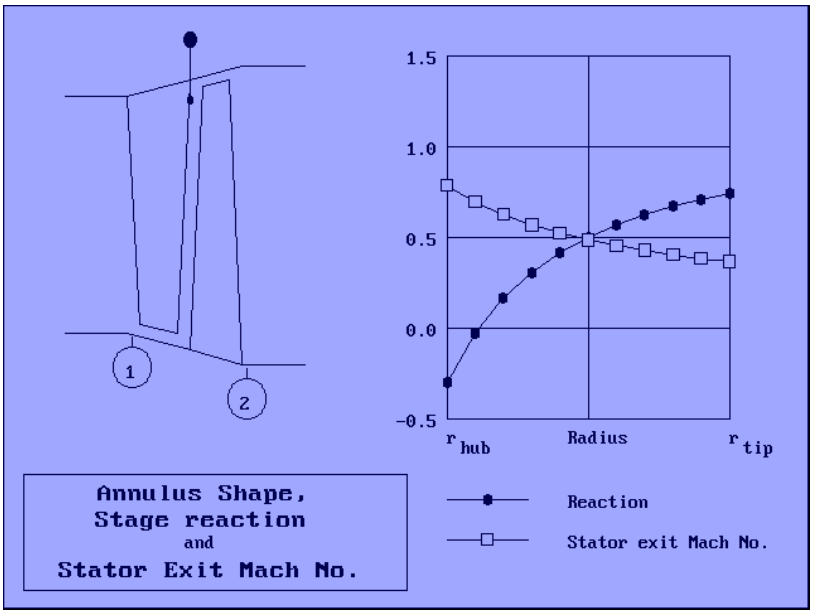


(Figura 1-B)

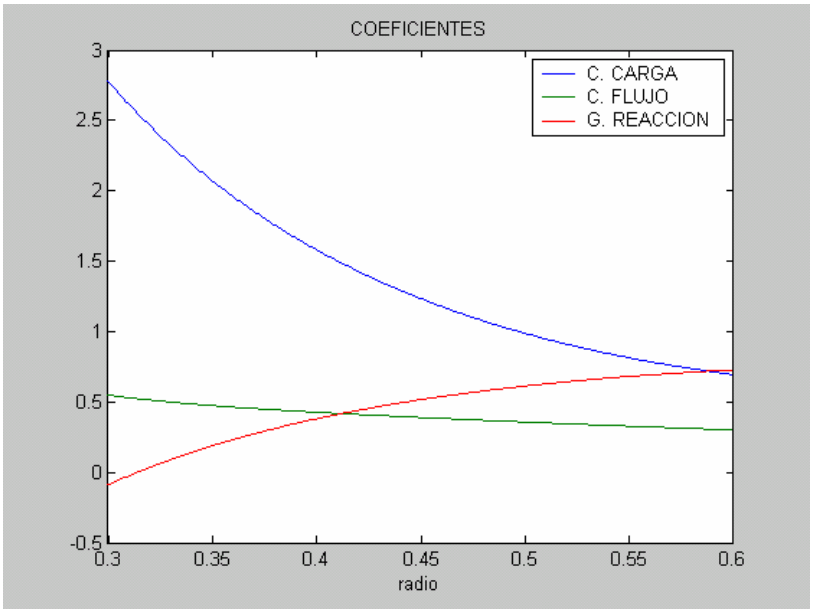
Observando los ángulos obtenidos (Figuras 1-B y 1-C) podemos apreciar la coincidencia de los mismos con los resultados existentes (Figura 1-A), existiendo una precisión elevada.



(Figura 1-C)



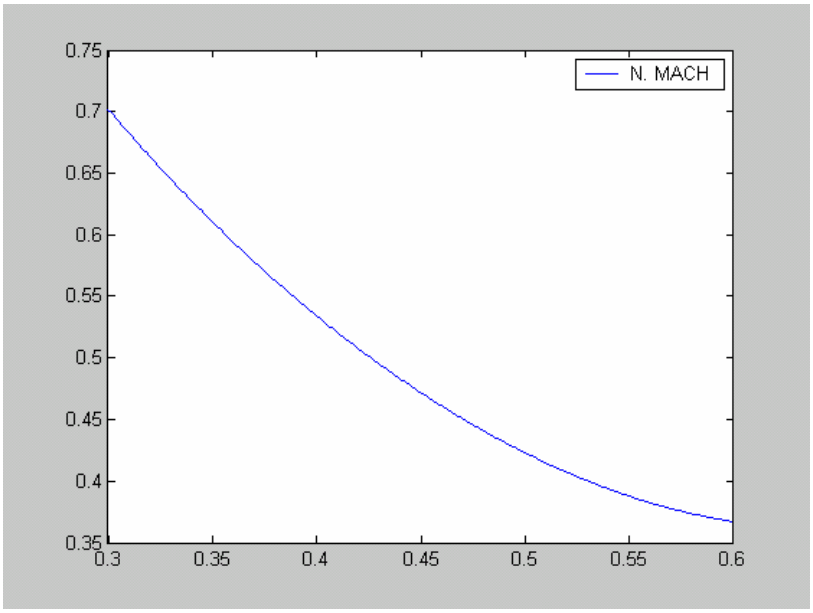
(Figura 1-D)



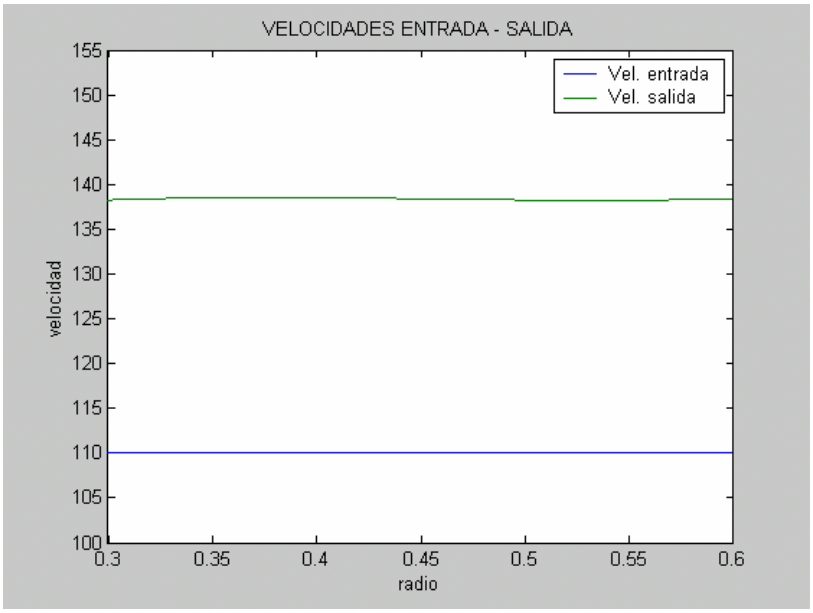
(Figura 1-E)

Si nos fijamos ahora en el grado de reacción (y comparando con la figura 1-D) podemos ver como en la zona del radio de cabeza los resultados se aproximan mucho, alejándose de los mismos en la zona del radio de raíz, donde tendríamos que haber obtenido un grado de reacción mas negativo.

Fijándonos en la siguiente figura del número de Mach, vemos que éste si que coincide con los valores buscados.



(Figura 1-F)



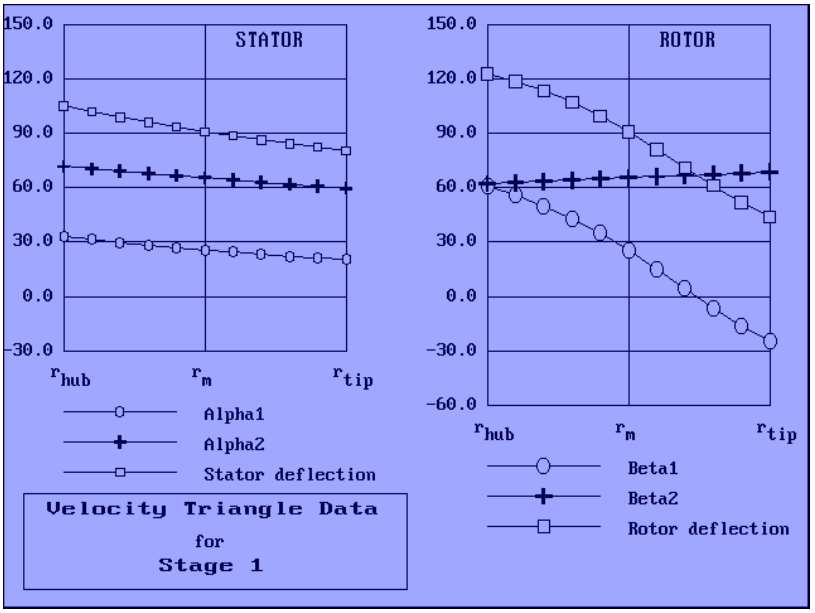
(Figura 1-G)

- Ejemplo 2.- Escalonamiento aislado

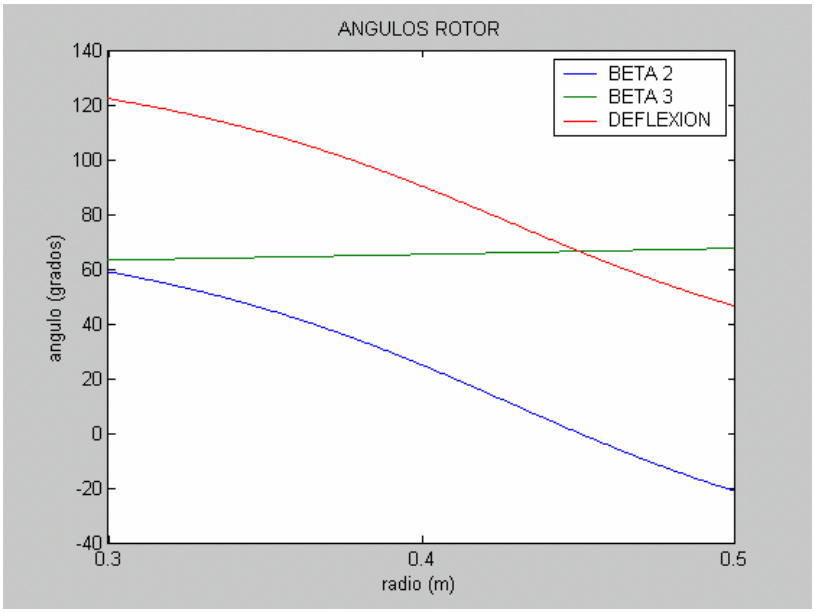
Datos de diseño de entrada:

Radio raíz entrada = 0.3 m
Radio cabeza entrada = 0.5 m
Número de etapas = 1
Relación aspecto álabe = 6.0
Flujo másico = 45 kg/s
Cp/Cv = 1.40
Wescal = 68495 J/Kg

Densidad entrada = 0.726 kg/m^3
Vel. entrada = 132.32 m/seg
Tra entrada = 1200 K
Velocidad rotación = 5000.0 r.p.m.
Rendimiento total a total = 92.0 %
R = 287.0 J/kg K
ct2E = (356, 267, 213.6) m/seg

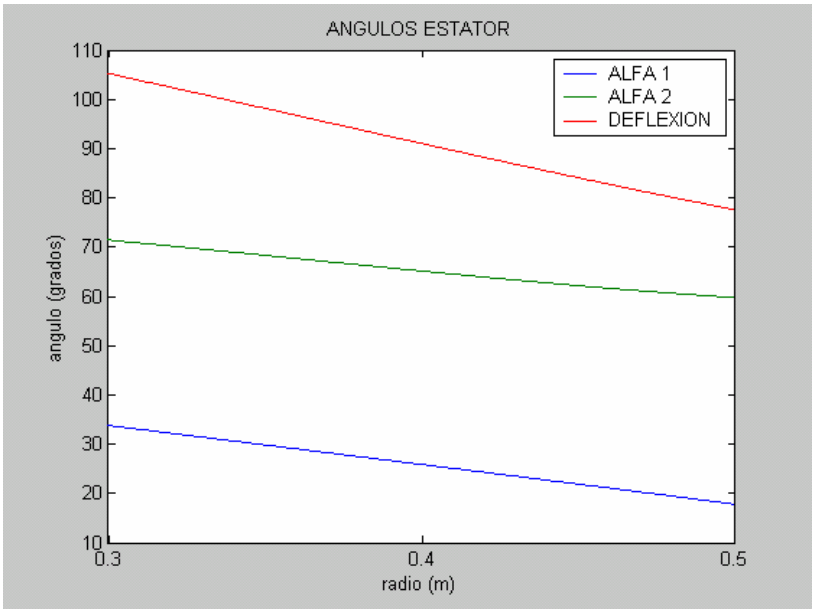


(Figura 2-A)

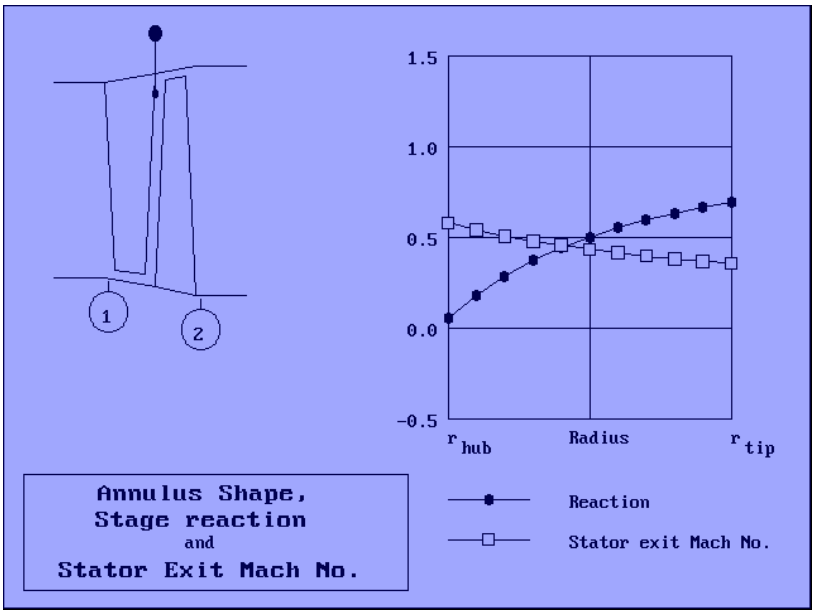


(Figura 2-B)

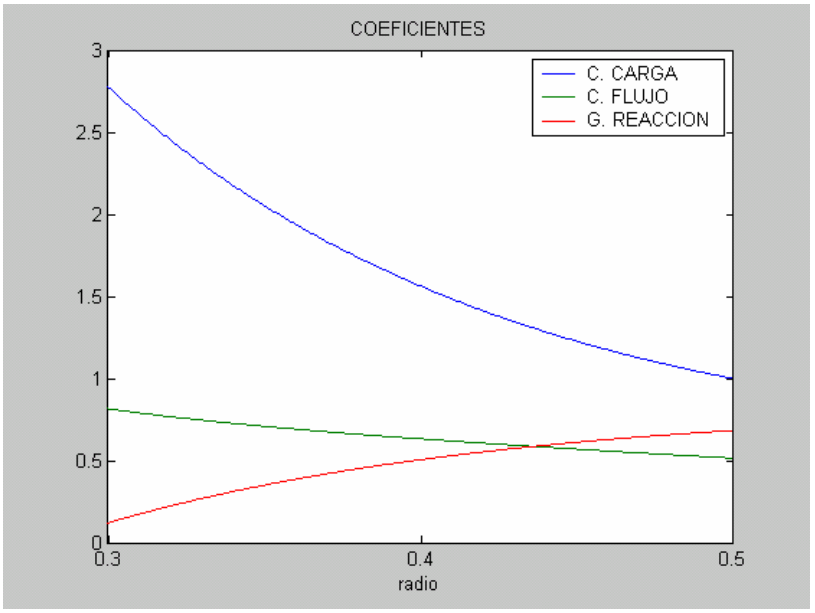
Analizando de nuevo un escalonamiento simple y examinando los ángulos obtenidos tanto en rotor como en estator de nuevo podemos comprobar la similitud entre dichos resultados y los mostrados en la figura (2-A).



(Figura 2-C)

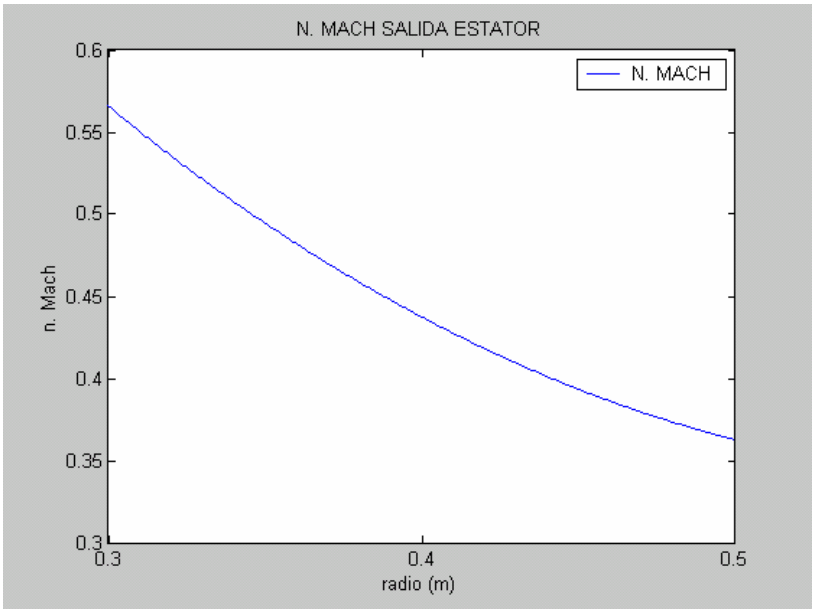


(Figura 2-D)

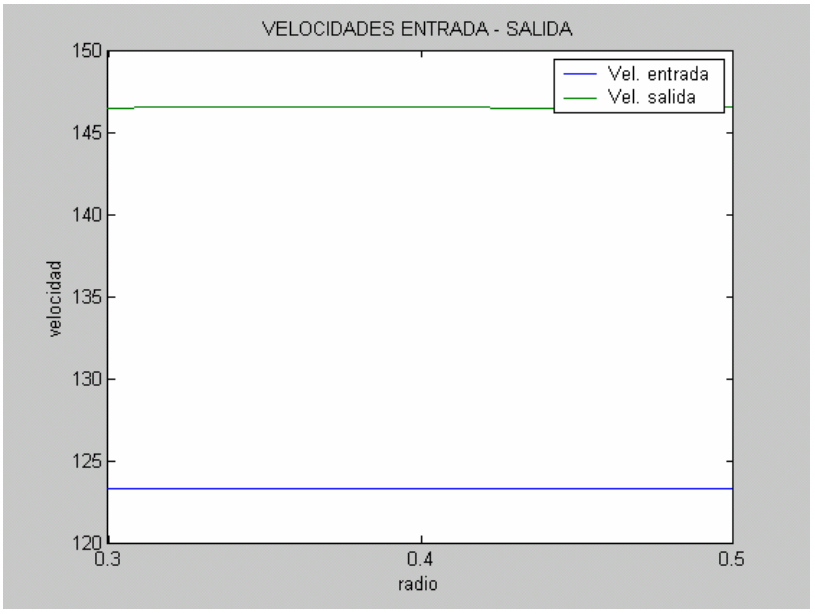


(Figura 2-E)

En este caso, a diferencia del caso anterior de escalonamiento simple, comparando las figuras (2-E) y (2-F) con la figura (2-D), comprobamos como tanto el grado de reacción como el número de Mach coinciden.



(Figura 2-F)



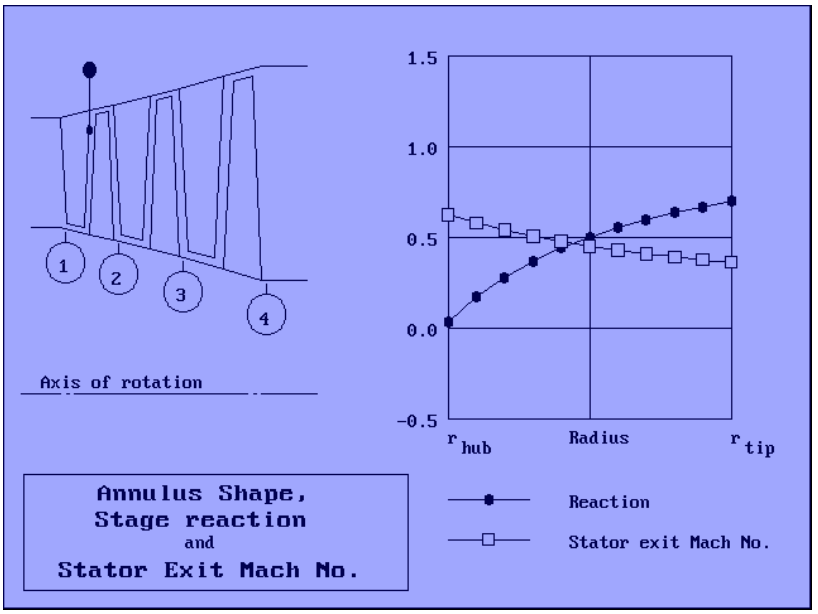
(Figura 2-G)

- Ejemplo 3.- Escalonamiento múltiple (3 etapas)

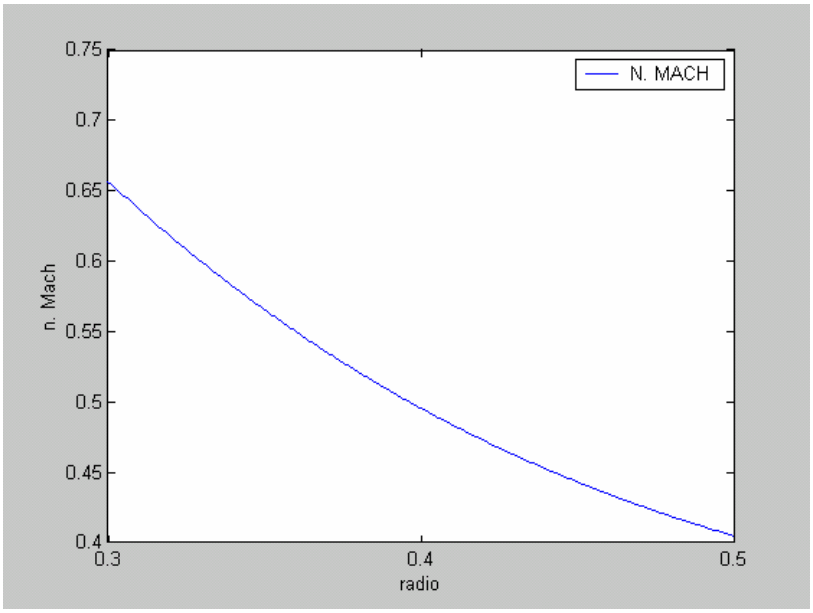
Datos de diseño de entrada:

Radio raíz entrada = 0.3 m
Radio cabeza entrada = 0.5 m
Número de etapas = 3
Relación aspecto álabe = 6.0
Flujo másico = 35 kg/s
Cp/Cv = 1.40
Wescal = 83564 J/Kg

Densidad entrada = 0.726 kg/m^3
Velocidad entrada = 95.92 m/seg
Tra entrada = 1200 K
Velocidad rotación = 6000.0 r.p.m.
Rendimiento total a total = 92.0 %
R = 287.0 J/kg K
ct2E = (390, 292.5, 234) m/seg

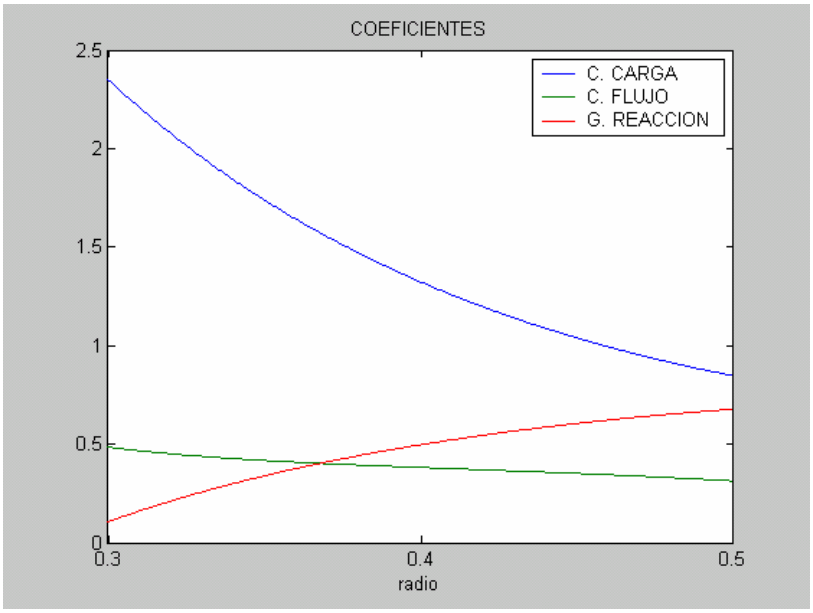


(Figura 3-A)

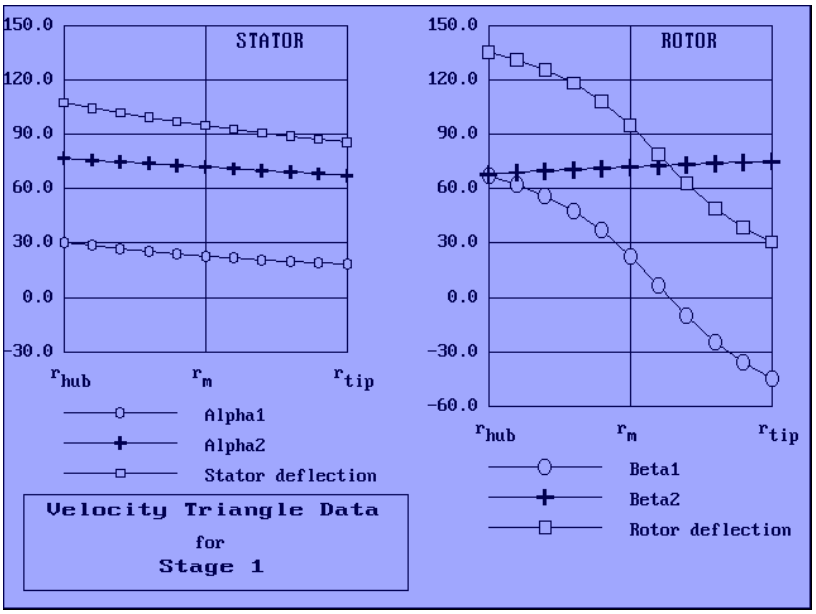


(Figura 3-B)

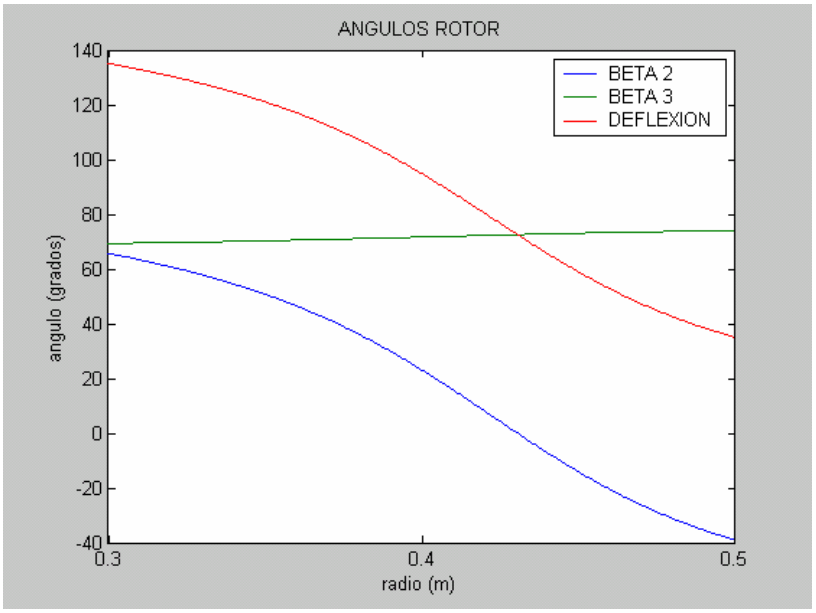
Examinamos ahora un escalonamiento múltiple. Vemos como aquí el número de Mach obtenido coincide con los resultados que tenemos en la figura (3-A). Sin embargo, si examinamos el grado de reacción, vemos que aunque los resultados se aproximan la precisión que alcanzamos es mucho menor que con el número de Mach.



(Figura 3-C)

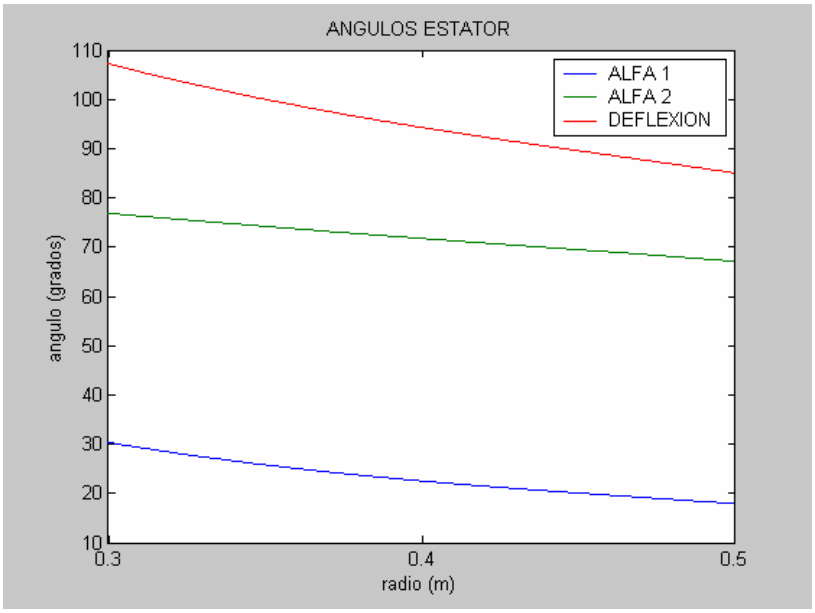


(Figura 3-D)

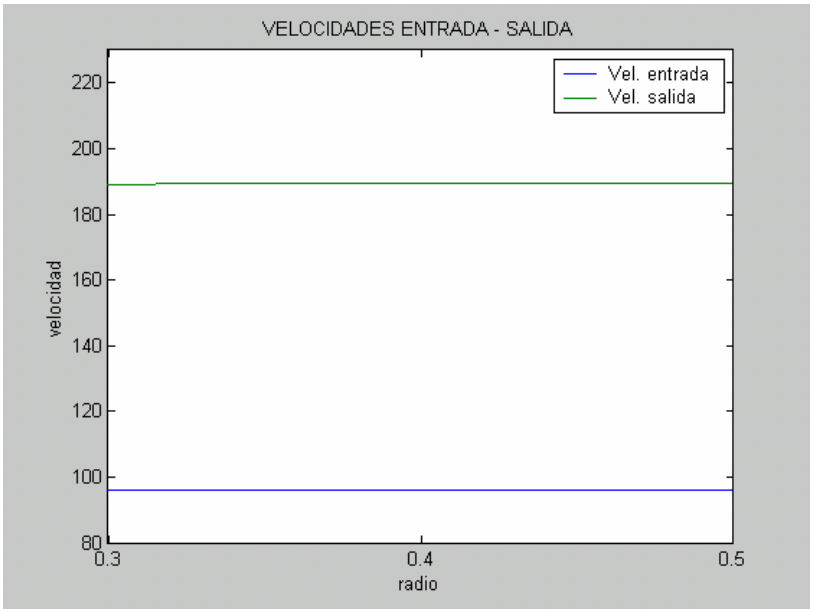


(Figura 3-E)

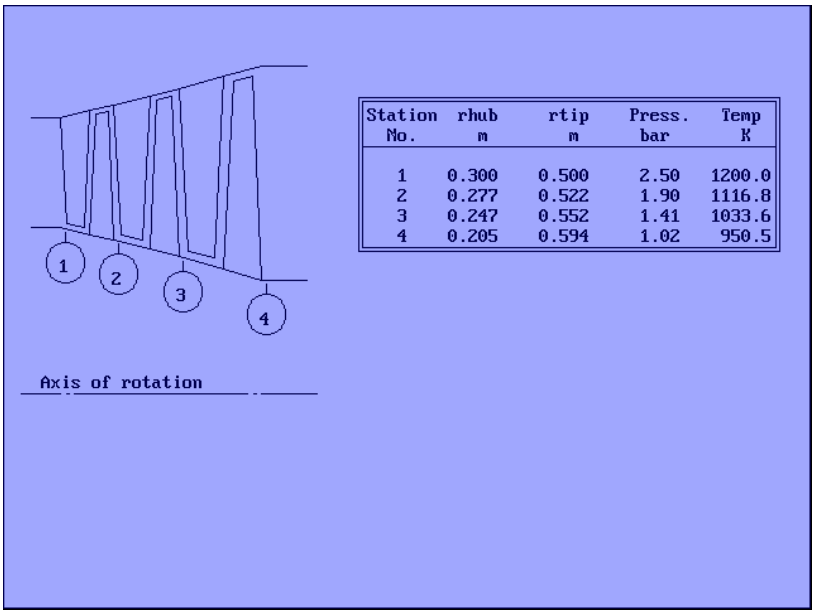
Para los ángulos en rotor y estator, para este caso de escalonamiento múltiple, obtenemos al igual que en casos anteriores unos resultados con una precisión muy elevada.



(Figura 3-F)



(Figura 3-G)



Station No.	rhub m	rtip m	Press. bar	Temp K
1	0.300	0.500	2.50	1200.0
2	0.277	0.522	1.90	1116.8
3	0.247	0.552	1.41	1033.6
4	0.205	0.594	1.02	950.5

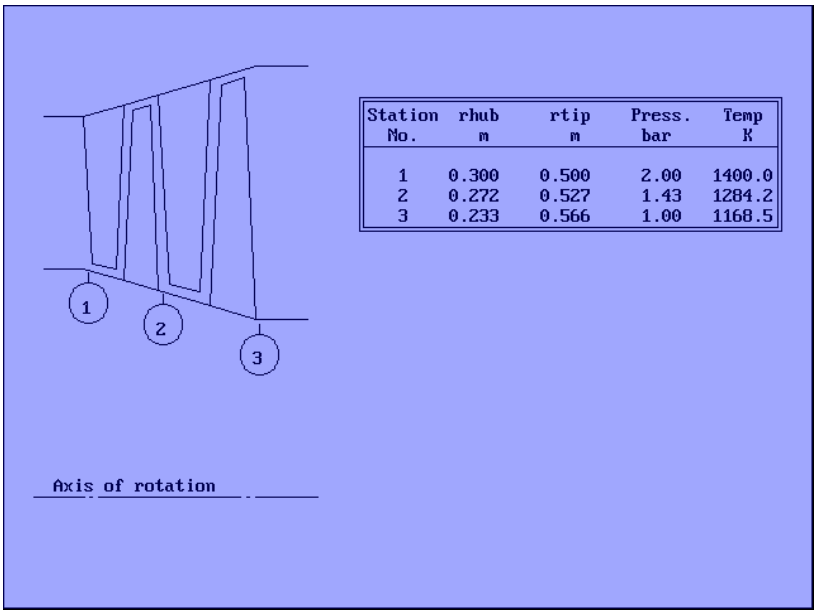
(Figura 3-H)

- Ejemplo 4.- Escalonamiento múltiple (2 etapas)

Datos de diseño de entrada:

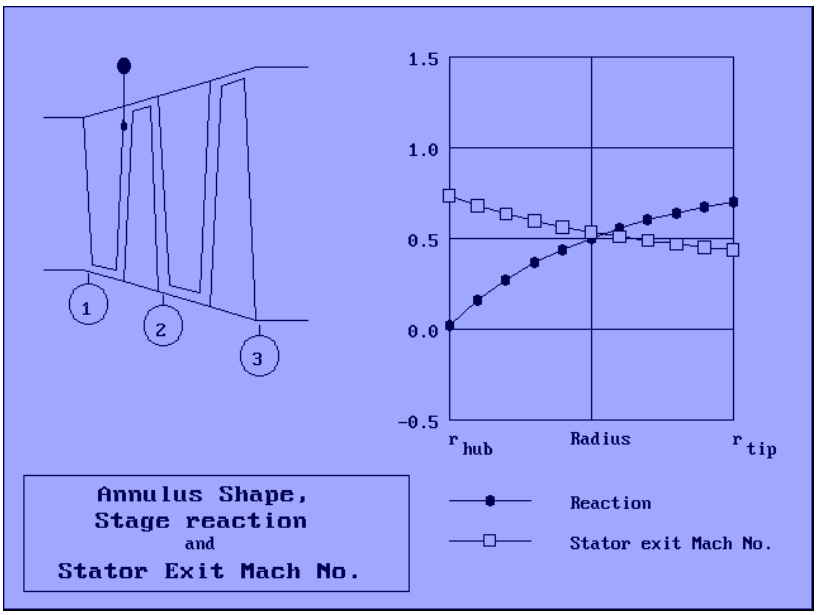
Radio raíz entrada = 0.3 m
Radio cabeza entrada = 0.5 m
Número de etapas = 2
Relación aspecto álabe = 6.0
Flujo másico = 40 kg/s
Cp/Cv = 1.40
Wescal = 116217 J/Kg

Densidad entrada = 0.497 kg/m^3
Velocidad entrada = 159.87 m/seg
Tra entrada = 1400 K
Velocidad rotación = 6000.0 r.p.m.
Rendimiento total a total = 92.0 %
R = 287.0 J/kg K
ct2E = (475.23, 356.42, 285.14) m/seg

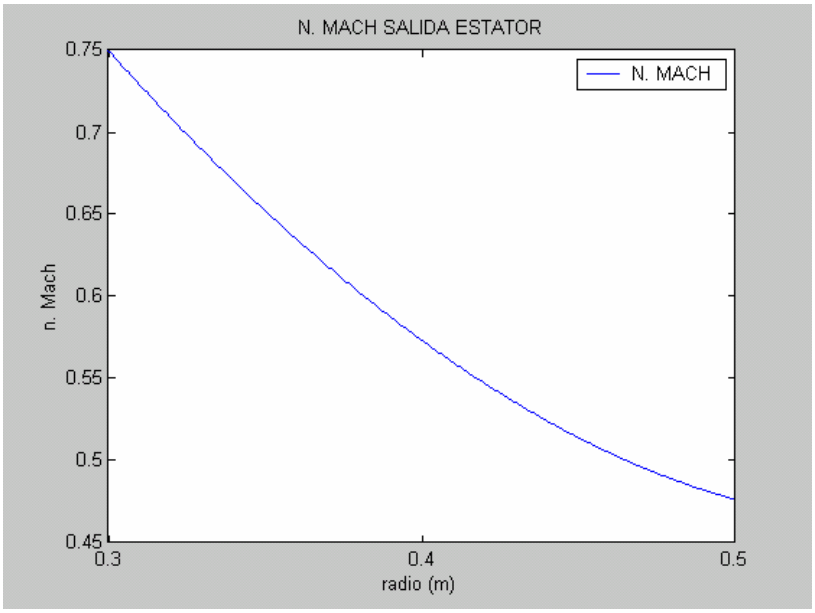


(Figura 4-A)

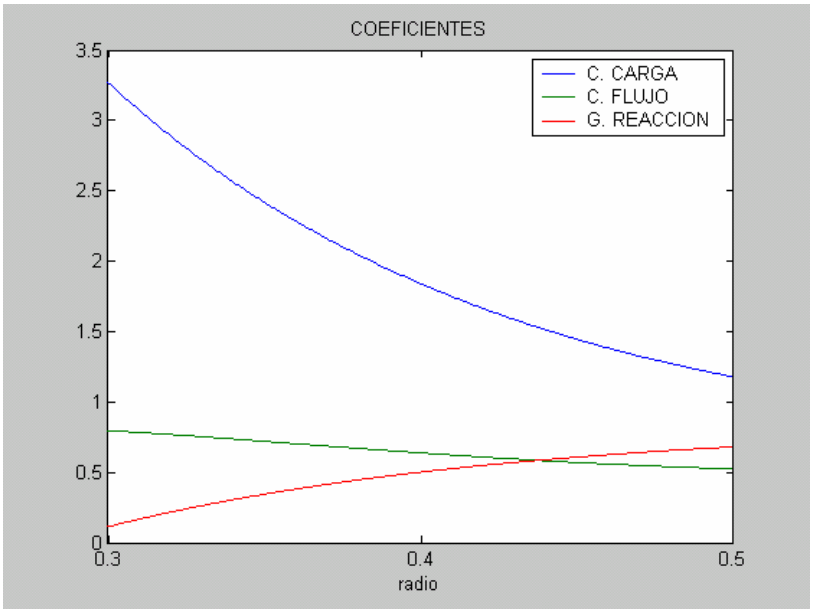
Resolvemos ahora un escalonamiento múltiple con dos etapas. Si examinamos las siguientes figuras de los ángulos, grado de reacción y número de Mach podemos comprobar como al igual que en los casos anteriores la coincidencia entre los resultados obtenidos y los existente es elevada. Notar que, de nuevo, el grado de reacción es el que menos se ajusta de todos ellos.



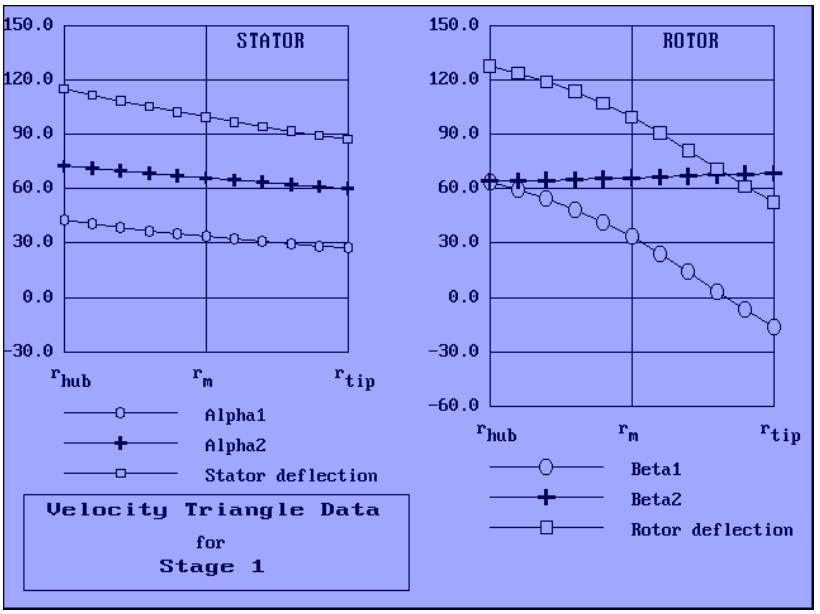
(Figura 4-B)



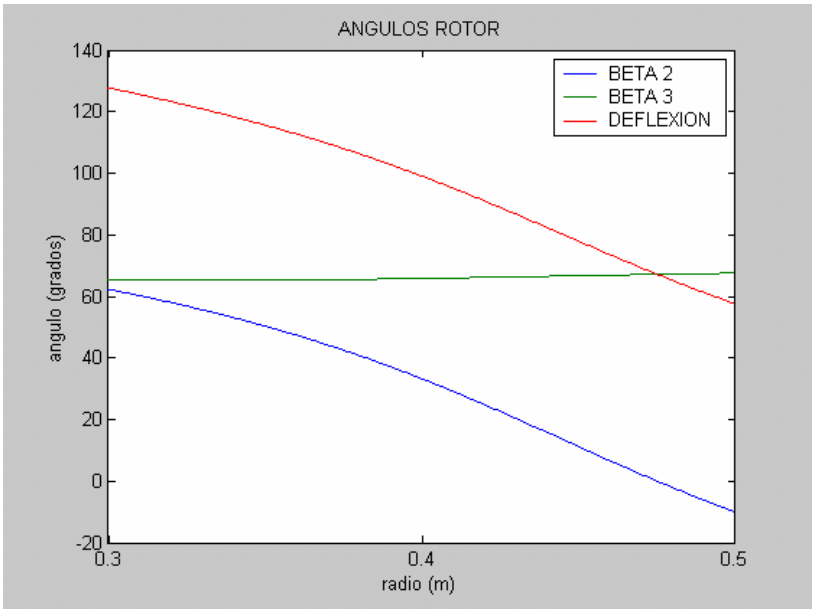
(Figura 4-C)



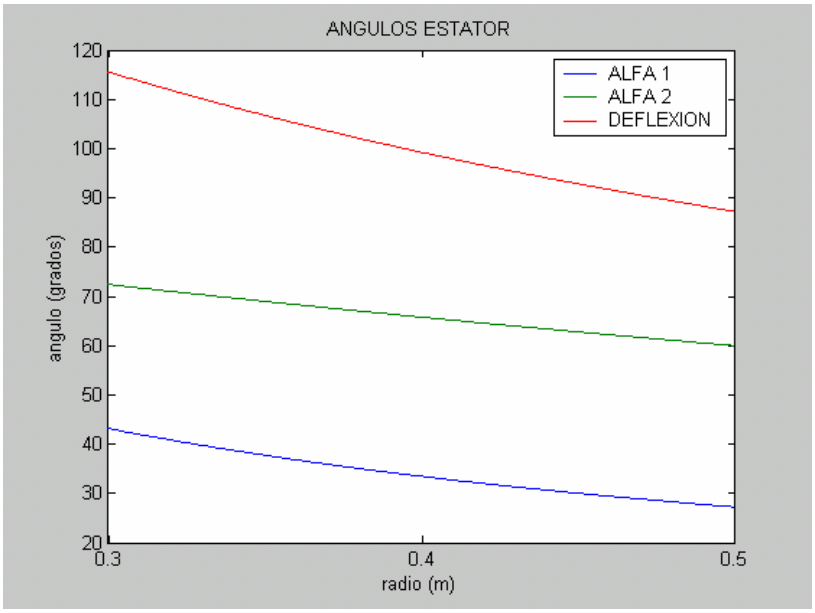
(Figura 4-D)



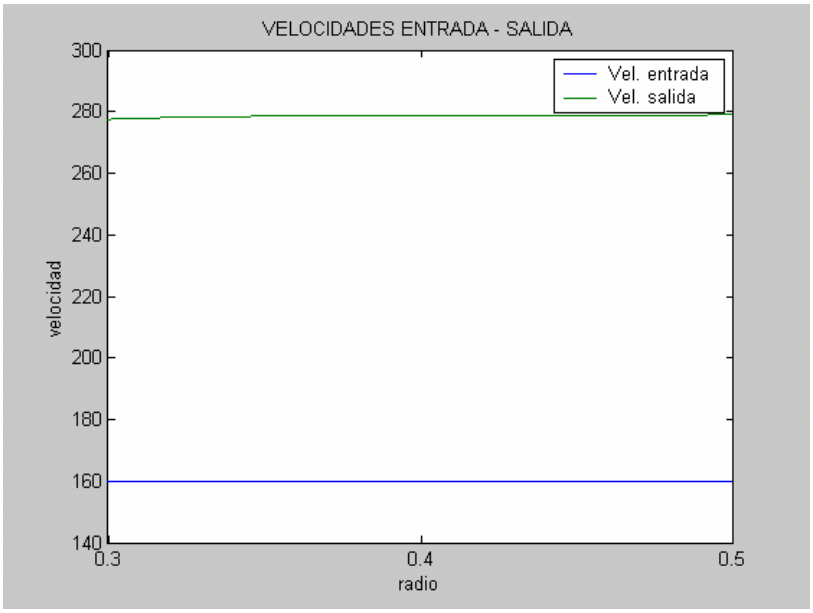
(Figura 4-E)



(Figura 4-F)



(Figura 4-G)



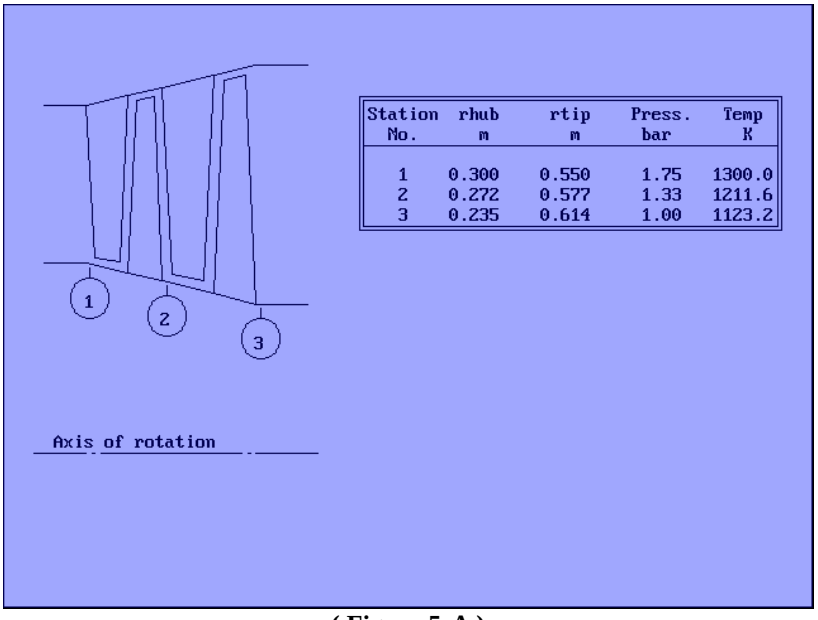
(Figura 4-H)

- Ejemplo 5.- Escalonamiento múltiple (2 etapas)

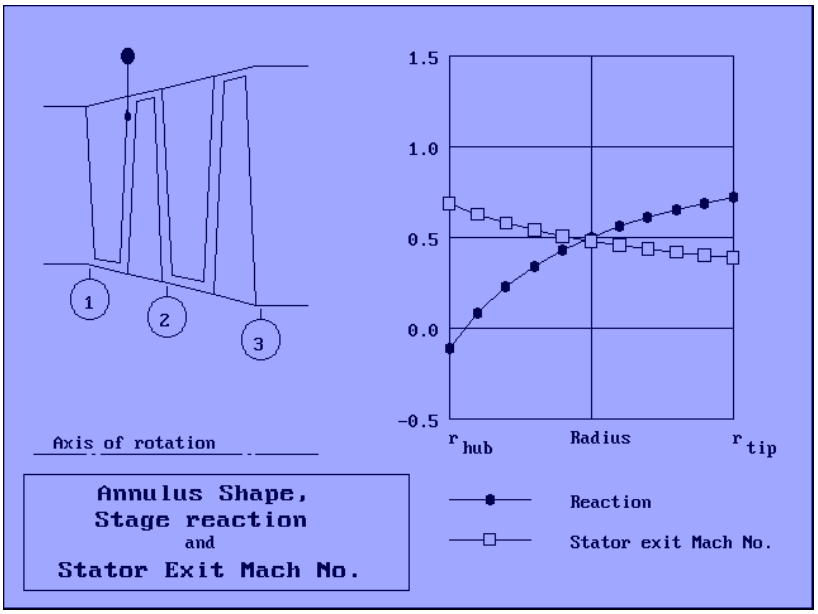
Datos de diseño de entrada:

Radio raíz entrada = 0.30 m
Radio cabeza entrada = 0.55 m
Número de etapas = 2
Relación aspecto álabe = 6.0
Flujo másico = 50 kg/s
Cp/Cv = 1.40
Wescal = 88757.35 J/Kg

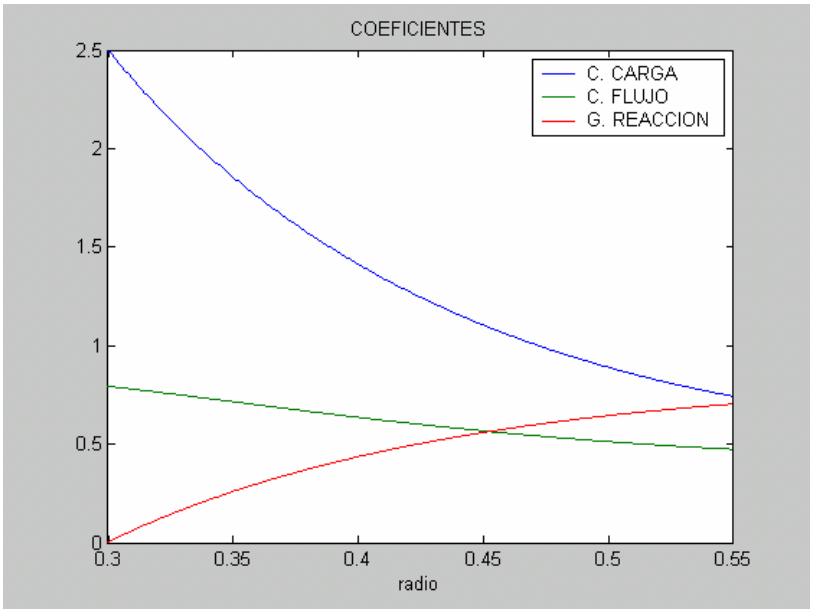
Densidad entrada = 0.469 kg/m^3
Velocidad entrada = 159.67 m/seg
Tra entrada = 1300 K
Velocidad rotación = 6000.0 r.p.m.
Rendimiento total a total = 92.0 %
R = 287.0 J/kg K
ct2E = (423.13, 298.68, 230.8) m/seg



(Figura 5-A)

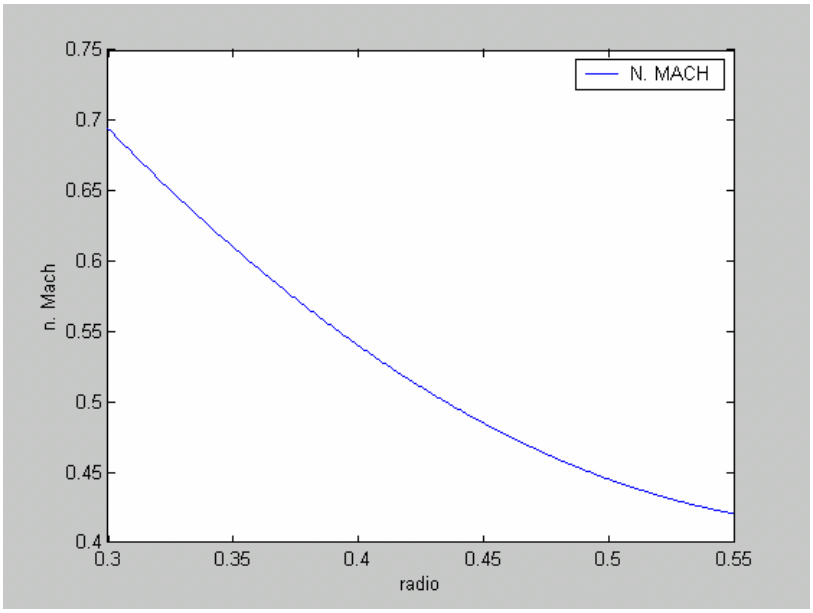


(Figura 5-B)

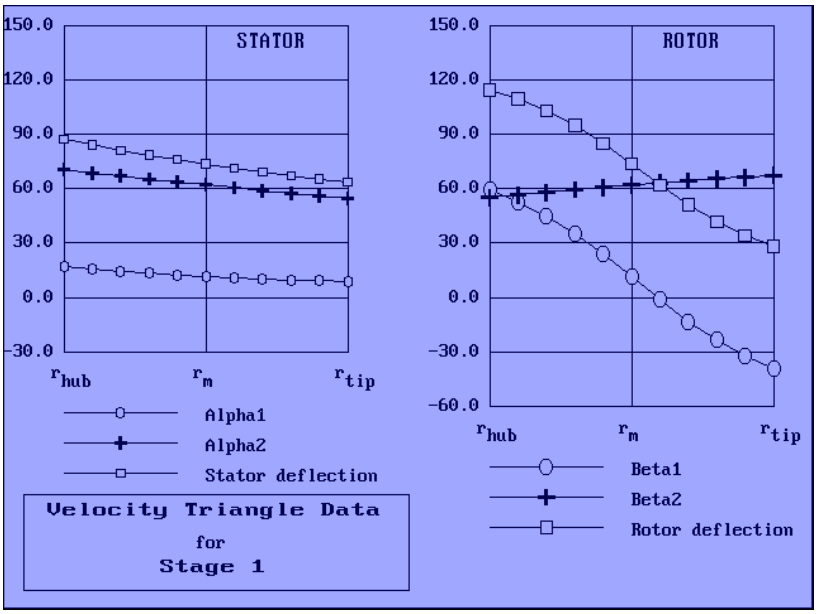


(Figura 5-C)

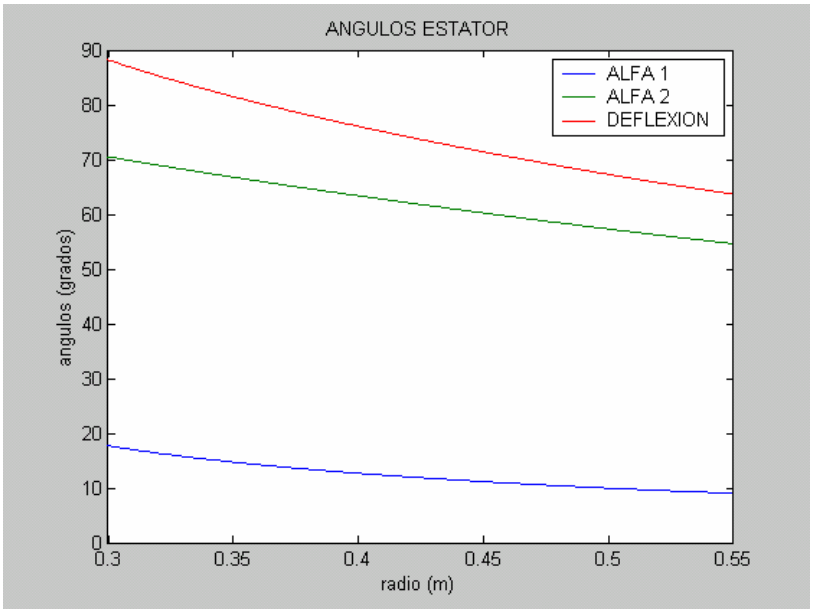
Si de nuevo se compara el grado reacción (Figura 5-C) y el número de Mach (Figura 5-D) con los valores de la figura (5-B) de nuevo volvemos a comprobar la validez de los resultamos que hemos obtenido, notando no obstante la distinta precisión alcanzada. Se pude notar, como el grado de reacción difiere algo en la zona del radio de raíz.



(Figura 5-D)

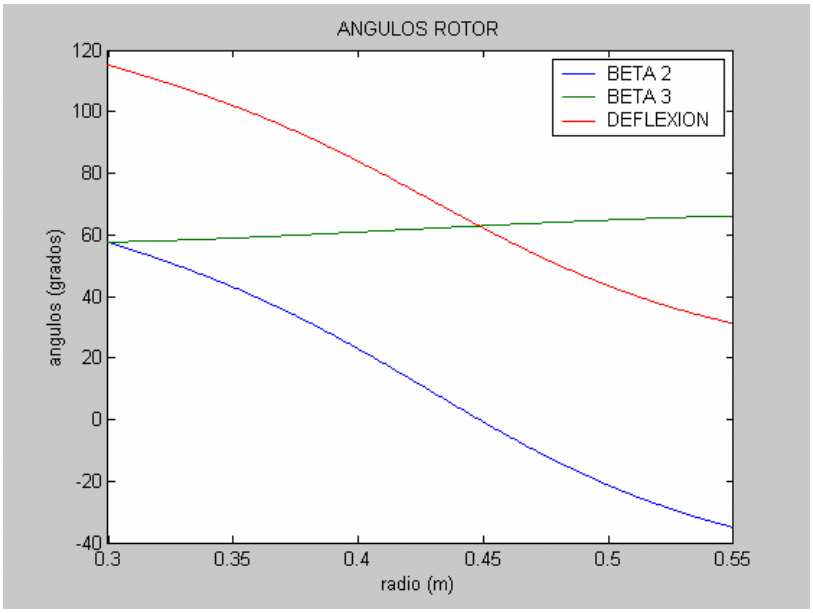


(Figura 5-E)

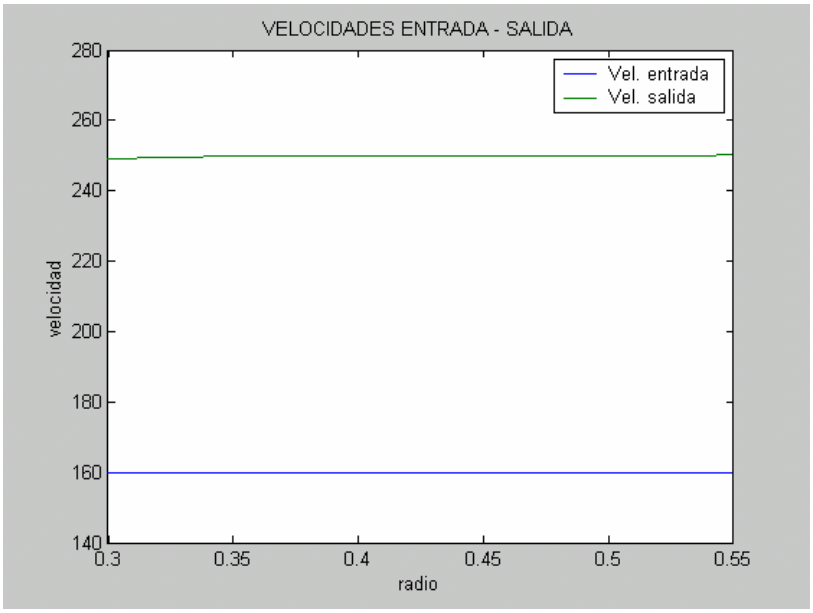


(Figura 5-F)

Comparando los ángulos obtenidos (figuras 5-F y 5-G) con los ángulos de la figura (5-E) podemos observar la coincidencia de los mismos.



(Figura 5-G)



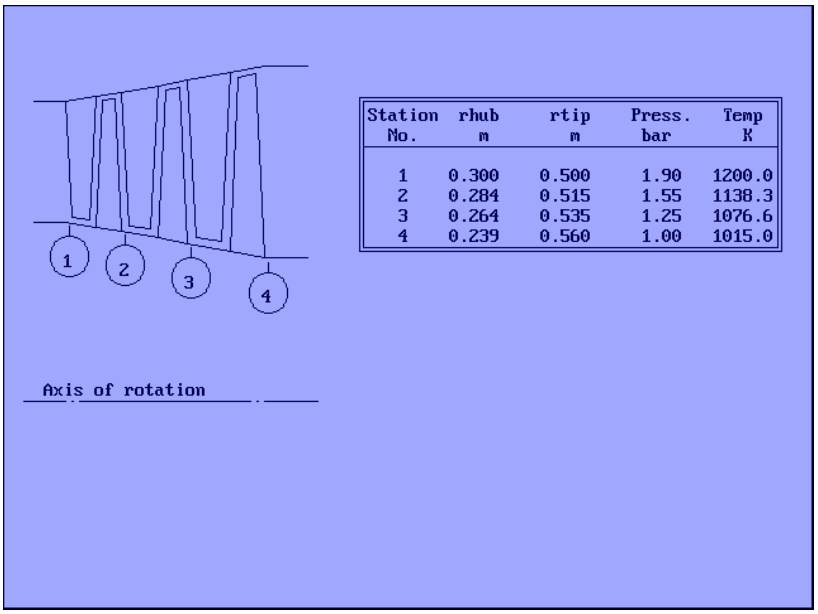
(Figura 5-H)

- Ejemplo 6.- Escalonamiento múltiple (3 etapas)

Datos de diseño de entrada:

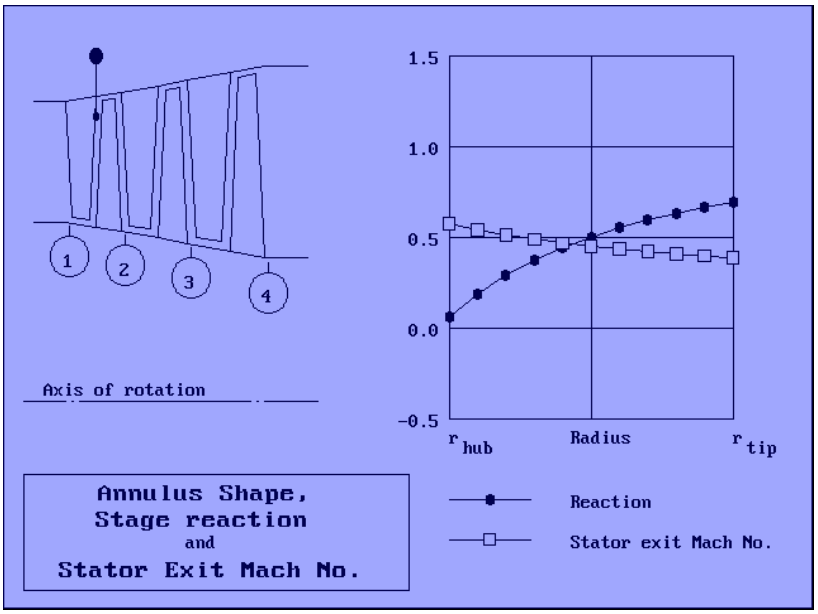
Radio raíz entrada = 0.3 m
Radio cabeza entrada = 0.5 m
Número de etapas = 3
Relación aspecto álabe = 6.0
Flujo másico = 50 kg/s
Cp/Cv = 1.40
Wescal = 61937.2 J/Kg

Densidad entrada = 0.5517 kg/m^3
Velocidad entrada = 180.3 m/seg
Tra entrada = 1200 K
Velocidad rotación = 6000.0 r.p.m.
Rendimiento total a total = 92.0 %
R = 287.0 J/kg K
ct2E = (328.57, 246.42, 197.14) m/seg

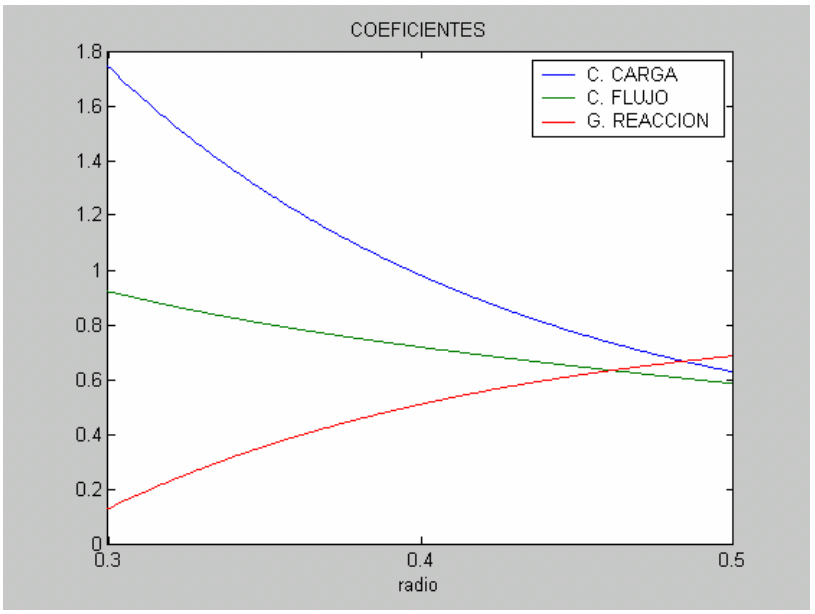


Station No.	rhub m	rtip m	Press. bar	Temp K
1	0.300	0.500	1.90	1200.0
2	0.284	0.515	1.55	1138.3
3	0.264	0.535	1.25	1076.6
4	0.239	0.560	1.00	1015.0

(Figura 6-A)

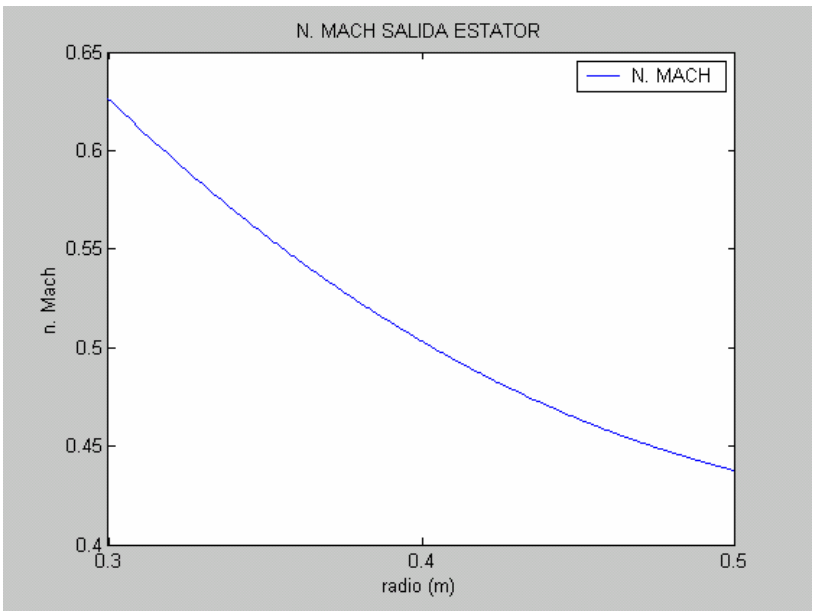


(Figura 6-B)

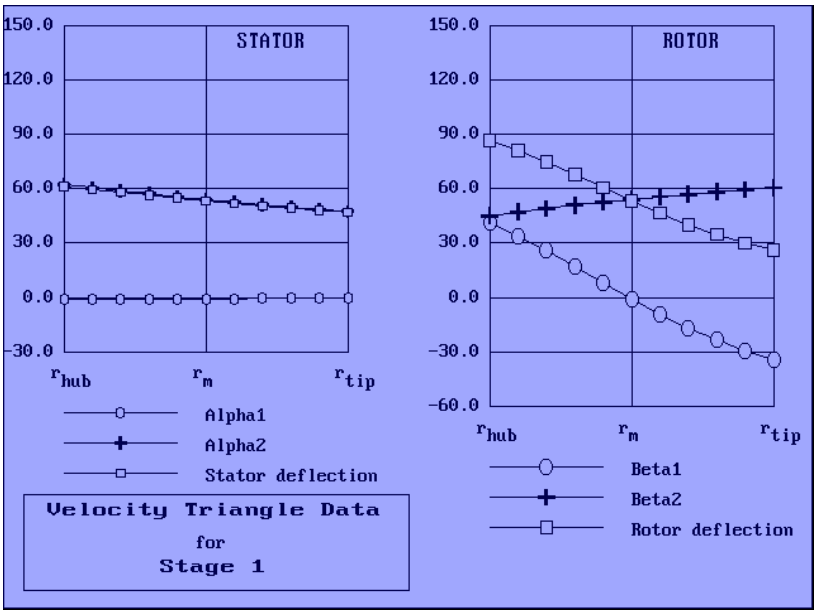


(Figura 6-C)

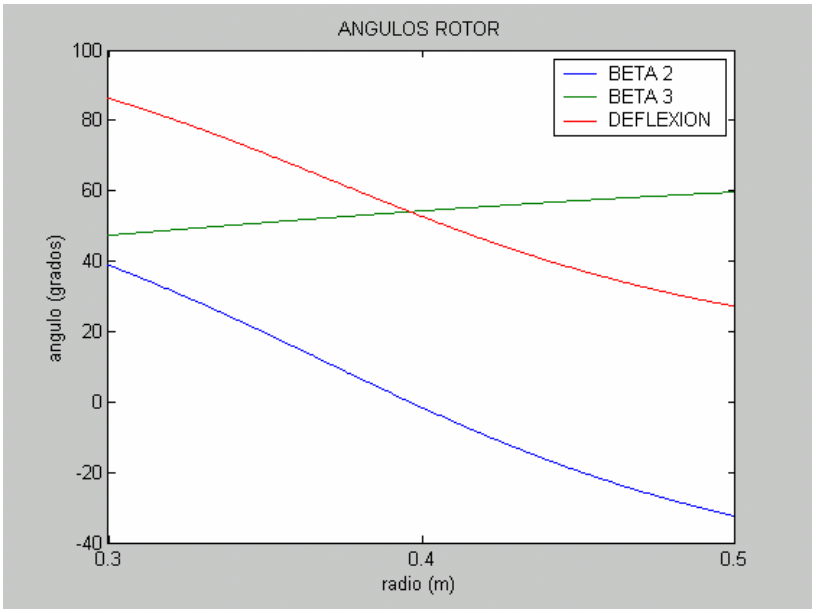
Si examinamos otro caso de escalonamiento múltiple (con tres etapas) y comparamos los resultados, notamos que en este caso no obtenemos la misma precisión con el número de Mach que en casos anteriores (Figuras 6-D y 6-B). Se pueden observar pequeñas variaciones en la zona del radio de raíz.



(Figura 6-D)

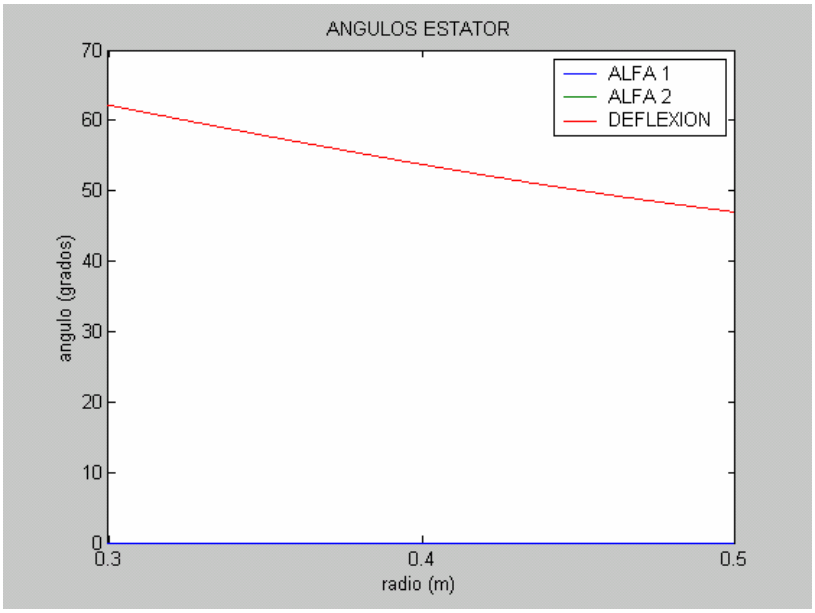


(Figura 6-E)

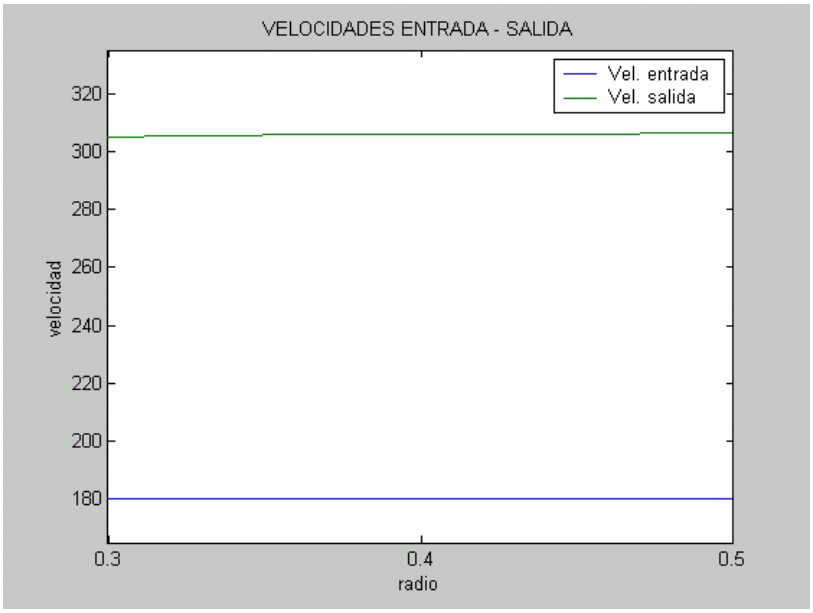


(Figura 6-F)

Comparando las gráficas de los ángulos volvemos a observar que los resultados obtenidos son prácticamente iguales. Tanto en rotor como estator se puede ver, además, que la precisión alcanzada es muy elevada.



(Figura 6-G)



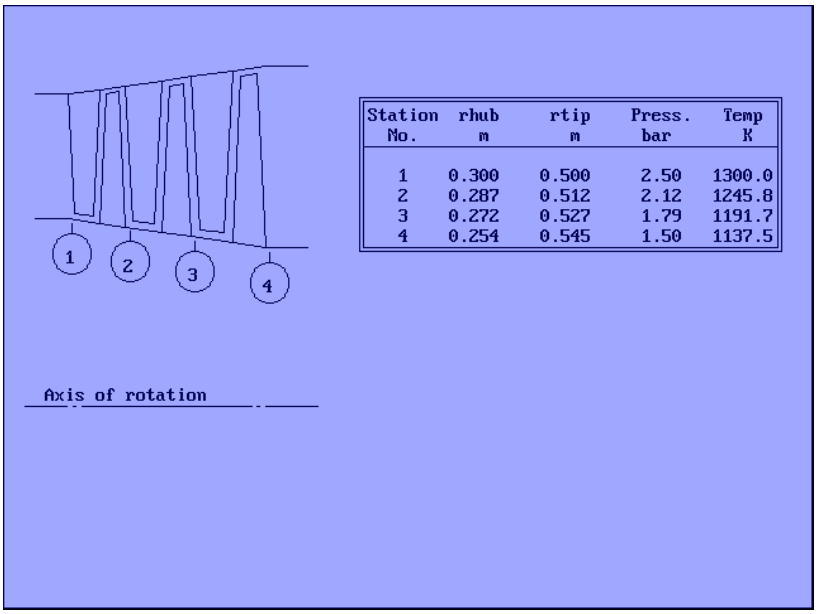
(Figura 6-H)

- Ejemplo 7.- Escalonamiento múltiple (3 etapas)

Datos de diseño de entrada:

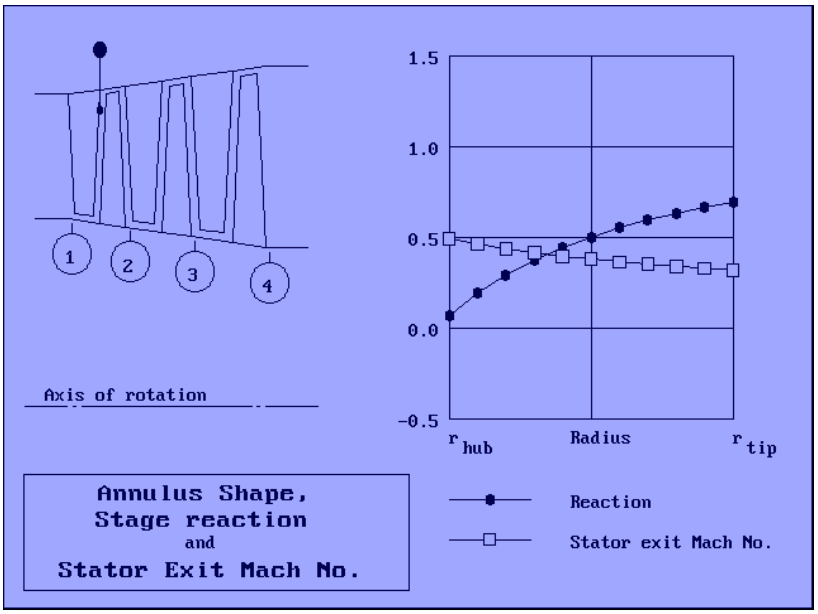
Radio raíz entrada = 0.3 m
Radio cabeza entrada = 0.5 m
Número de etapas = 3
Relación aspecto álabe = 6.0
Flujo másico = 45 kg/s
Cp/Cv = 1.40
Wescal = 54382 J/Kg

Densidad entrada = 0.67 kg/m^3
Velocidad entrada = 133.6 m/seg
Tra entrada = 1300 K
Velocidad rotación = 5000.0 r.p.m.
Rendimiento total a total = 92.0 %
R = 287.0 J/kg K
ct2E = (308.53, 231.4, 185.12) m/seg

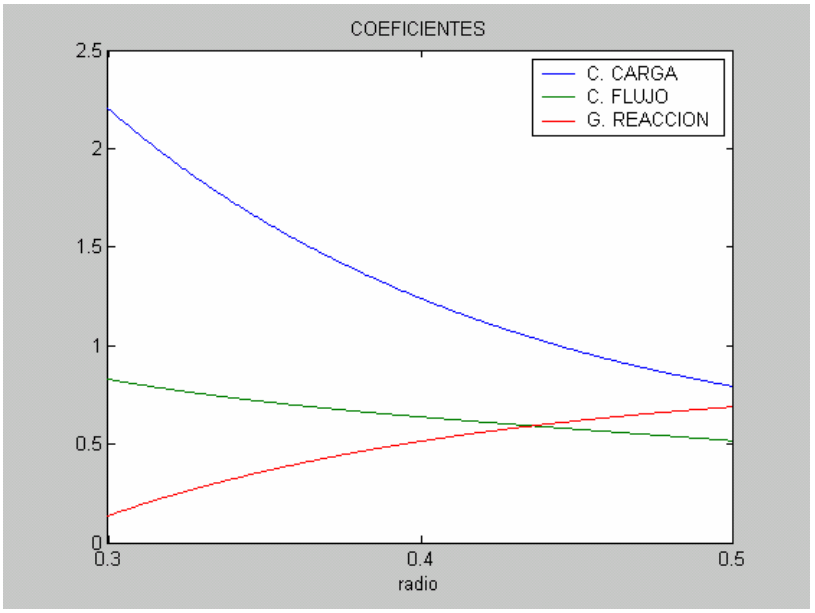


(Figura 7-A)

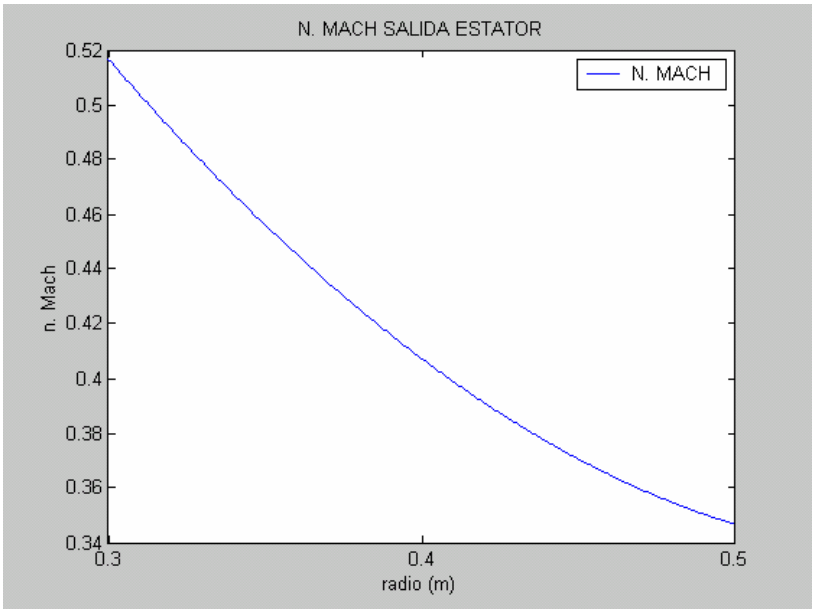
Si examinamos por último un escalonamiento múltiple con tres etapas, y analizamos de nuevo los distintos resultados obtenidos, podemos comprobar como la semejanza con los datos que disponemos de comparación es muy buena al igual que hemos ido comprobando en los sucesivos casos resueltos.



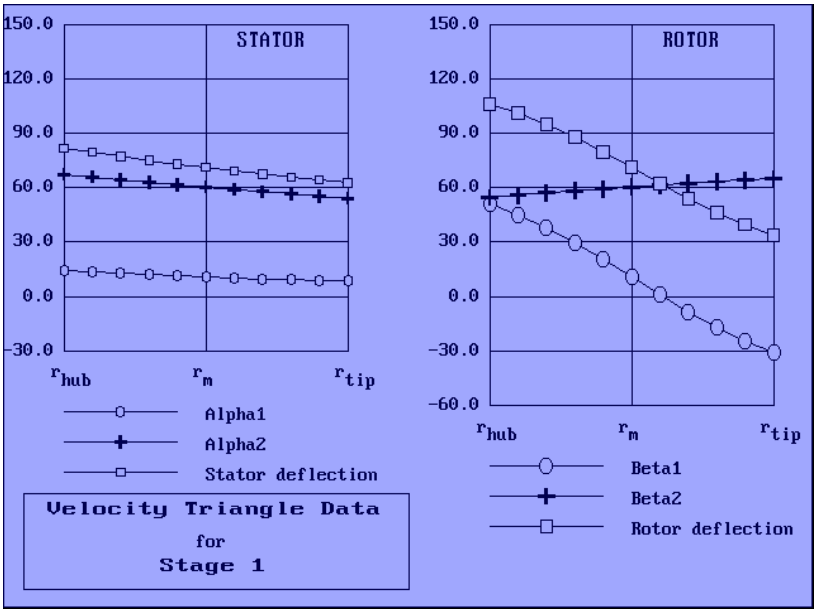
(Figura 7-B)



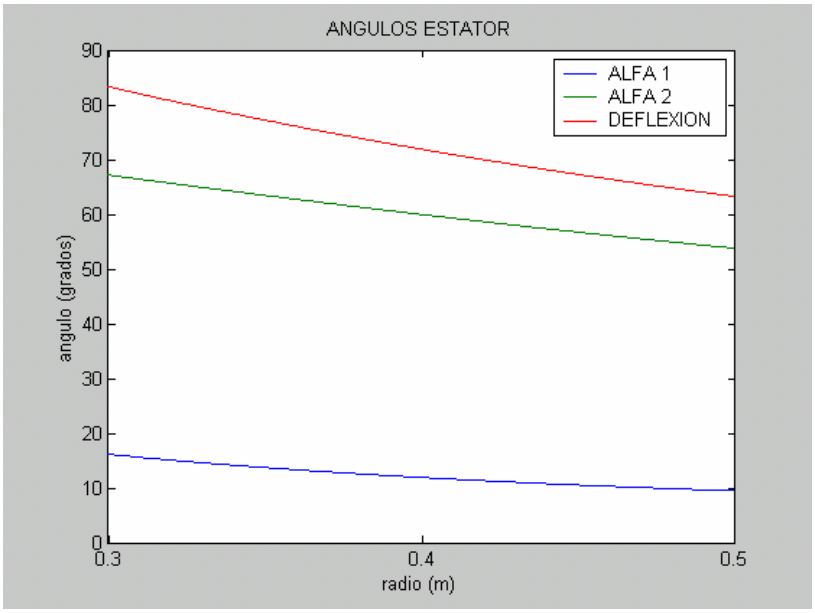
(Figura 7-C)



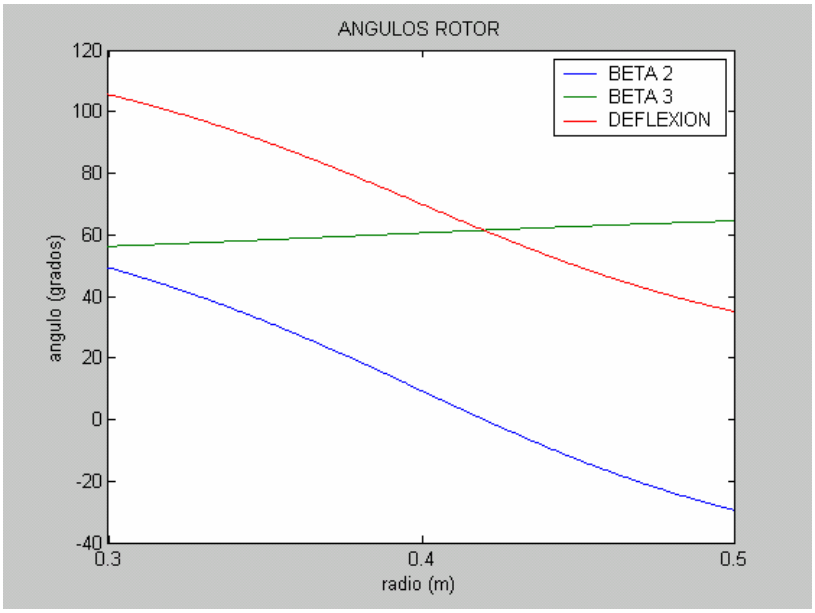
(Figura 7-D)



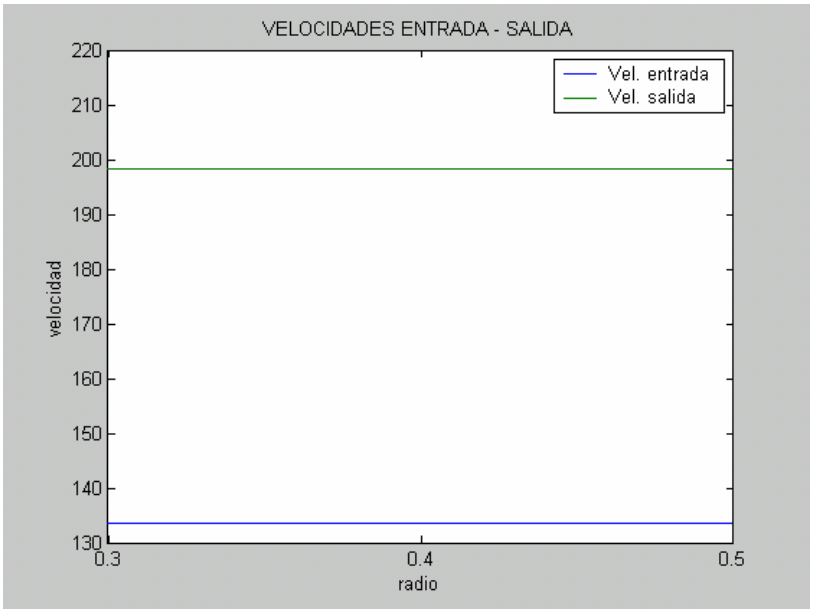
(Figura 7-E)



(Figura 7-F)



(Figura 7-G)


VELOCIDADES ENTRADA - SALIDA
Vel. entrada
Vel. salida
velocidad
220
210
200
190
180
170
160
150
140
130
0.3
0.4
0.5
radio

(Figura 7-H)