

# Automatización de Sistemas de Producción

4º Grado en Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica

A horizontal bar with three segments: brown, yellow, and red.

## Tema 5. 3

# Análisis estadístico en ARENA

A faded background image of a large, multi-story university building with many windows, surrounded by greenery.

## ■ Indice

- **Verificación.**
- **Análisis estadístico de datos de salida para simulaciones no estacionarias (terminating simulations).**
- **Análisis del número de replicaciones.**
- **Análisis con el output analyzer. Comparación de medias.**
- **Análisis con el Process Analyzer: similar diferentes alternativas.**

- System ->Model ->"Code"
- *Validación*: Es el modelo igual al Sistema?
- *Verificación*: Código=Modelo? (debugging)
- Verificación es mucho más sencillo.
- La verdad es que es muy complicado comprobar ambas, sobre todo para modelos muy grandes, con muchas variables.

## Verificación

Proceso que consiste en confirmar que el modelo está correctamente implementado con respecto al modelo conceptual (cumple especificaciones e hipótesis aceptables para la aplicación) .

- **Algunas técnicas para intentar la verificación del modelo:**
- Eliminar mensajes de error
- Realizar la simulación con la liberación de una sola entidad. Seguir la lógica:
- Configurar “Max Arrivals = 1” en modulo create.
- Simular el modelo en condiciones extremas.
- Analizar posibles resultados no lógicos (no tienen sentido o no corresponden con lo que debería salir).

Análisis estadístico: Inferir algo sobre la población completa, teniendo solo un conjunto llamado muestra.

- Muestra: secuencia de observaciones **independientes**.
- Si tenemos un conjunto  $X$ , de muestras, podemos calcular media y varianza muestral:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$


$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

- Estimadores insesgados (valor esperado es precisamente, el valor de la media y la varianza de la población).
- Realizar prueba de hipótesis: intervalos de confianza



- Estimadores puntuales poseen una variabilidad asociada=>intervalo.
- Un intervalo de confianza da cuantificación de esta variabilidad.
- El objetivo es formar un intervalo que, haciendo uso del estimador puntual (por ejemplo, la media muestral), cubra el parámetro real (de la población) con una probabilidad llamada nivel de confianza (1- $\alpha$ ).
- Ejemplo. El intervalo de confianza para la media de una población es:

$$\bar{X} \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

- Random input leads to random output (RIRO)
- **Simular una vez— Qué significa?**
  - ◆ Es esta simulación típica?
  - ◆ Existe variación entre replicaciones?
- **Necesitamos análisis estadístico**
- **Tiempo de cada replicación.**
  - ◆ Terminating: Condiciones específicas de comienzo y fin de simulación 
  - ◆ Steady-state (estado estacionario): Una replicación muy larga.
  - ◆ En este tema nos centraremos en simulaciones terminating



- Realizar replicaciones independientes y distribuidas. Las replicaciones no están correlacionadas (muestras independientes)
  - ◆ Run set up: Número de replicaciones.
  - ◆ Activar inicialización de estadísticos (Initialize and System).
- **Cuántas replicaciones?**
  - ◆ Prueba y error
  - ◆ Aproximar el número con precisión aceptable. Dos enfoques.
  - ◆ Pueden ser requeridas mayor número de replicaciones.
- **Para un número grande de replicaciones, simular sin animación.**



- Menores intervalos de confianza— *precisión*
- Notación:  $n$  = no. replications  
 $\bar{X}$  = sample mean  
 $s$  = sample standard deviation  
 $t_{n-1, 1-\alpha/2}$  = critical value from  $t$  tables
- Intervalo de confianza:  $\bar{X} \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$
- Half-width (h) (pequeño) =  $t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$
- *Qué es el half-width?*

# Half width y número de replicaciones

## (II)



- Arena proporciona el intervalo de confianza del 95% en torno a media:  $\mu \pm h$
- El intervalo de confianza del 95% en torno a la media significa que la media esperada (real) está en el intervalo con un 95% de probabilidad.
- Si hacemos  $n$  replicaciones y hacemos el intervalo para cada replicación, sobre el 95% de esos intervalos cubrirían la media esperada.

# Half width y número de replicaciones

## (III)



- Half width (h) =  $t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$
- Si variamos n, variamos t y s.  $n = t_{n-1, 1-\alpha/2}^2 \frac{s^2}{h^2}$
- Para hacer más pequeño h, aumentar n?
- Set half-width = h, resolver
- Realmente no se resuelve para n (t, s dependen de n)
- Simplificación:
  - ◆ Sustituir t por z (normal), desviación típica muestral s se mantendrá. Teorema central del límite.
  - ◆ Aplicar:  $n \cong z_{1-\alpha/2}^2 \frac{s^2}{h^2}$  s = Desviación típica muestral para  $n_0$  replicaciones.

## Teorema central del límite

Si una población  $S$  es la suma de  $n$  variables aleatorias, independientes y de varianza no nula y finita, entonces la distribución de probabilidad de  $S$  puede asimilarse a una normal si  $n$  es lo suficientemente grande (generalmente mayor a 30).

## ■ Aproximación:

$$n \cong n_0 \frac{h_0^2}{h^2}$$

$h_0$  = half width from “initial”  
number  $n_0$  of replications

$n$  crece cuadrática-  
mente con  $h$

## ■ Aplicar:

- ◆ Simular  $n_0$  número inicial de replicaciones y se obtiene  $h_0$  correspondiente a  $n_0$ .
- ◆ Definimos un objetivo “half width”  $h$  (impuesto por nosotros).
- ◆ Calculamos el número  $n$  de replicaciones necesarias  $h$ .
- ◆ Si no lo logramos, volvemos a repetir el proceso con los nuevos valores (método iterativo).

# Ejemplo: Estación de procesamiento.



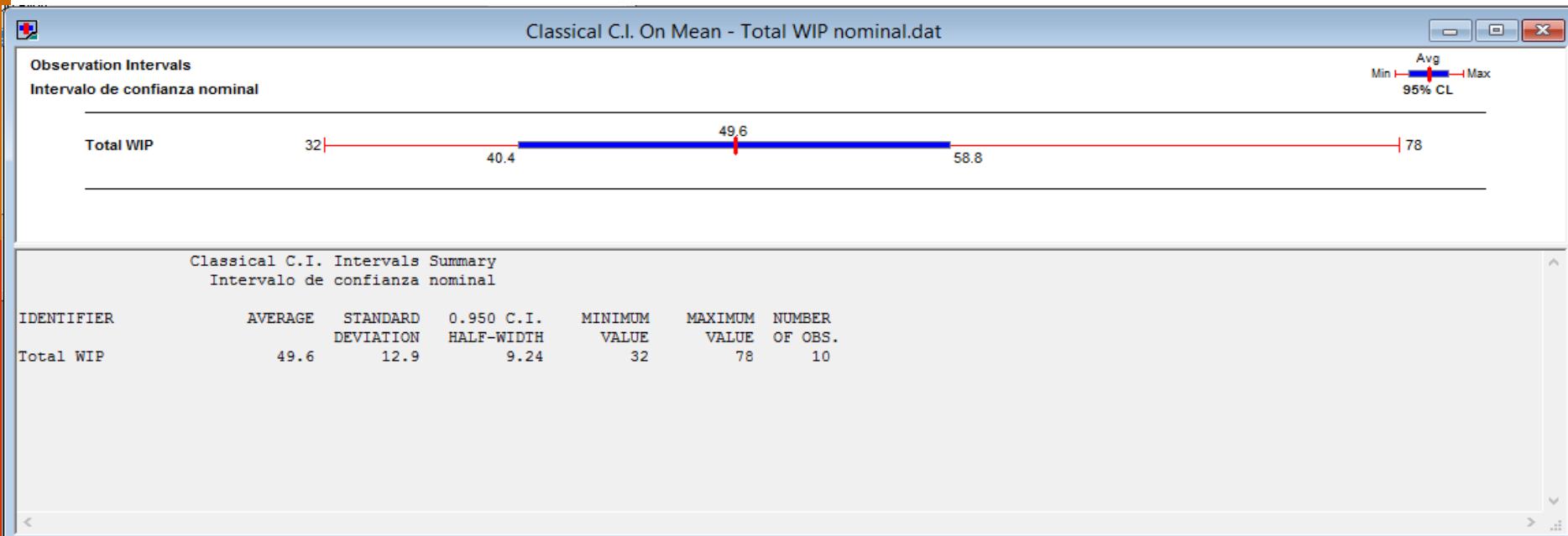
- Estación de procesamiento. Ejercicio 5.
- Vamos a analizar dos variables: WIP y número de piezas procesadas. Para ello creamos dos variables estadísticas de salida en Advanced Process->Statistical module. Guardamos las variables en fichero .dat para analizarlas con el Process Analyzer.
- En expression, damos con botón derecho->build expression. Así podremos configurar la expression de las variables. En este caso necesitamos la suma de los WIP (work in process) y de las entidades de salida (número). Ejecutar 10 repeticiones.

	Name	Type	Expression	Report Label	Output File
1	Total WIP	Output	EntitiesWIP(Part 1)+EntitiesWIP(Part 2)+EntitiesWIP(Part 3)+EntitiesWIP(Entity 1)	Total WIP	Total WIP nominal.dat
2 ▶	Piezas Proc	Output	EntitiesOut(Part 1)+EntitiesOut(Part 2)+EntitiesOut(Part 3)	Piezas Proc	Piezas Proc nominal.dat

# Ejemplo: Estación de procesamiento. Output Analyzer.



- Una vez simulado, se generarán dos archivos. Abrir Output Analyzer (Buscar en menu inicio).
- File->New. Añadir fichero Total WIP nominal.dat.
- Analyze. Intervalo de confianza sobre la media (Classical). Incluir dicho fichero. Replications (Lumped).





# Ejemplo: Estación de procesado. Output Analyzer (II)



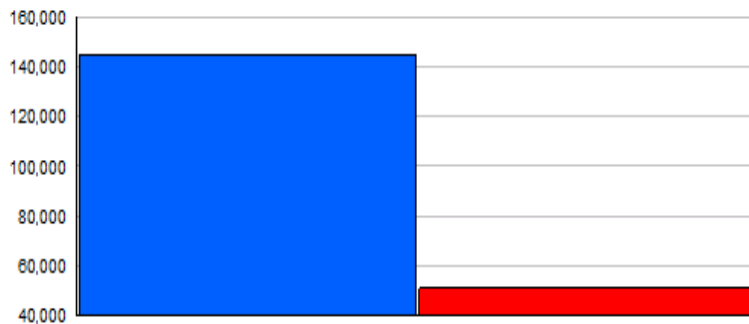
- Media 49.6, S=12.9, half width=9.24, replications=10.
- Calcular número de replicaciones para obtener un h de 5. Dos enfoques.

$$n \cong z_{1-\alpha/2}^2 \frac{s^2}{h^2} \quad n \cong 1.96^2 \frac{9.46^2}{5^2} \cong 14$$

$$n \cong n_0 \frac{h_0^2}{h^2} \cong 10 \frac{9.46^2}{5^2} \cong 36$$

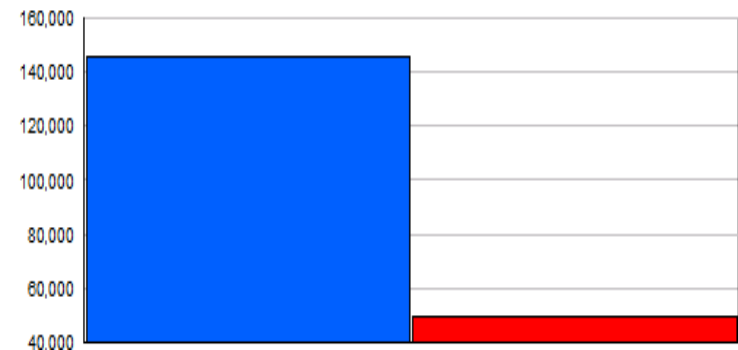
Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Piezas Proc	144.93	2,24	137.00	149.00
Total WIP	50.8571	7,18	32.0000	78.0000



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Piezas Proc	145.43	1,45	137.00	153.00
Total WIP	49.9714	4,47	30.0000	78.0000



# Analizar estrategias. Comparación medias.

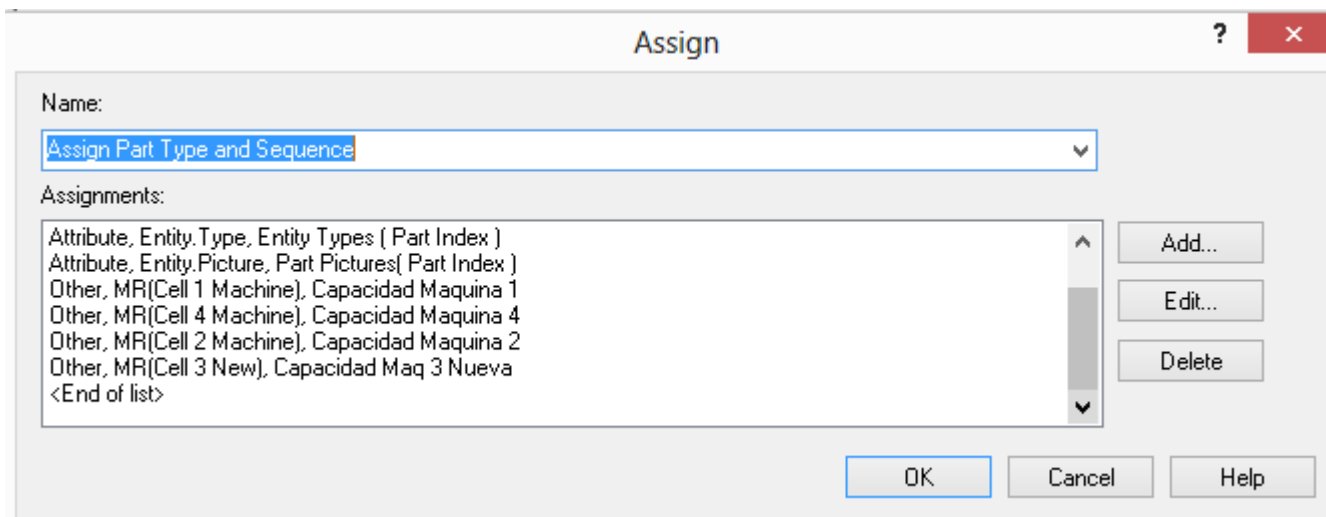


- El Output Analyzer nos permite comparar diversas opciones.
- Realizar pruebas de hipótesis. Por ejemplo compara medias de dos experimentos distintos.
- Supongamos que podemos incrementar una unidad de capacidad en dos recursos. Incrementar una unidad en maquinas 2 y 4 y en máquinas 1 y 3 New.
- Pregunta: ¿Se mejora con respecto a la solución original? ¿qué opción es mejor?.
- Asignar más capacidad a la máquina. Módulo assign.
- MR(Resource) (indica capacidad del recurso, se parametriza con una variable en modulo variables, para luego usar PAN).

# Ejemplo: Estación de procesado.

## Analizar estrategias. Comparación medias.

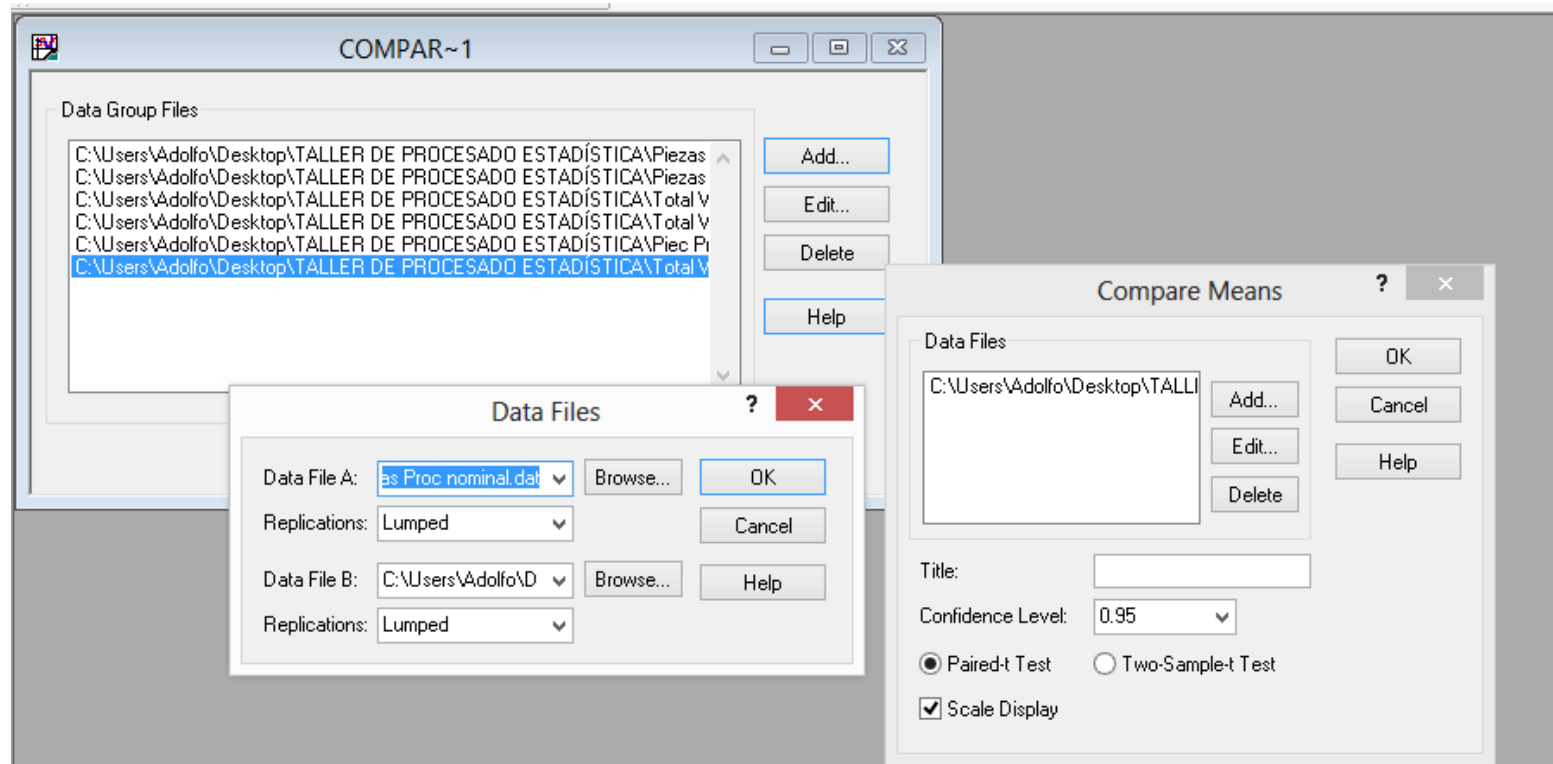
- El caso nominal ya lo tenemos simulado. Aumentar capacidad máquina 1-3. 10 Replicaciones, guardar estadísticos en ficheros .dat.
- Realizar lo mismo, pero aumentando la capacidad de los recursos 2-4 en uno cada uno.



# Ejemplo: Estación de procesado. Analizar estrategias. Comparación medias.



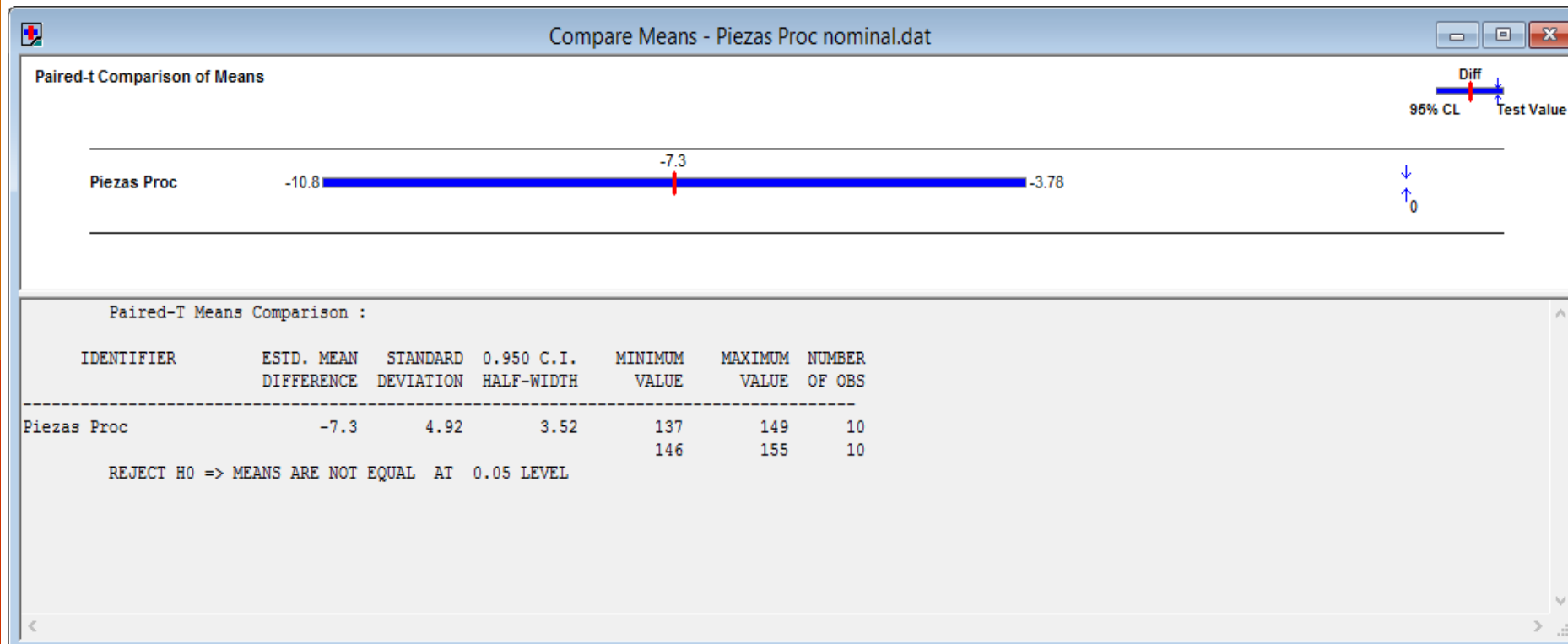
- Open output analyzer. New (adjuntar todos los ficheros .dat). Analyze->Compare means. Vamos a comparar piezas procesadas nominal con las procesadas al aumentar 1-3.



# Ejemplo: Estación de procesamiento. Analizar estrategias. Comparación medias.



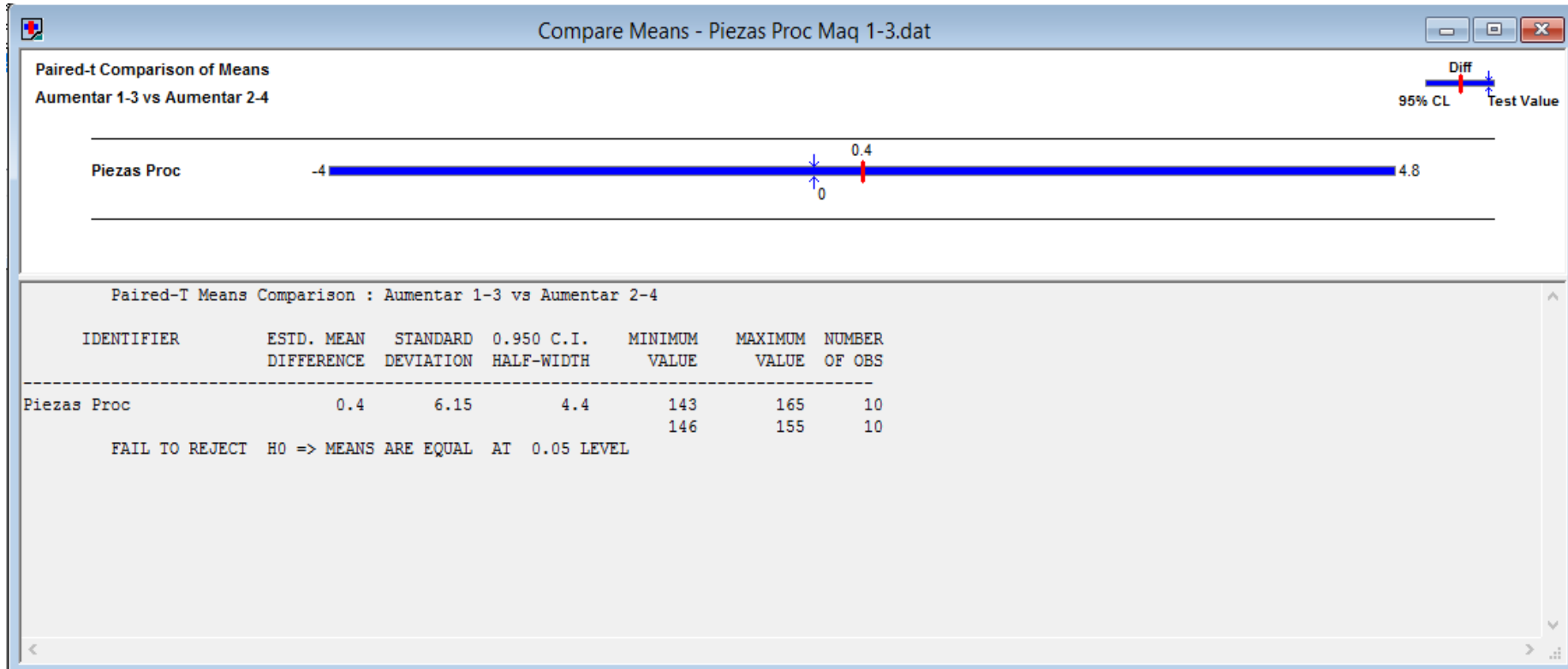
- Se ve que la media es 7 piezas menor y ARENA certifica que las medias NO son iguales (el cero no está en el intervalo). Por lo tanto se produce más. Realizar lo mismo con caso de aumentar máquinas 2-4.



# Ejemplo: Estación de procesamiento. Analizar estrategias. Comparación medias.



- Hay ganancia con respecto al caso nominal, pero ¿qué opción es mejor, aumentar 2-4 o aumentar 1-3?. Comparación de medias. 0 está en el intervalo. No se puede asegurar que una opción sea mejor que la otra.



- ¿Qué opción sería mejor?. Analizar qué ocurre al aumentar la capacidad de los recursos con respecto al número de piezas procesadas y al WIP.
- Process analyzer nos permite crear varios casos y analizarlos dependiendo de una serie de parámetros definidos por el usuario (Controls) y una serie de salidas output.
- Aún así, esto solo permite crear y comparar escenarios, no hallar el óptimo. Esto se hace con OptQuest (no disponible en la versión estudiante).

- Check model. Genera fichero .p. Abrir PAN en Tools Process Analyzer.
- File New, crear caso nominal. Para añadir Control, Insert->Control. Para añadir Respuesta Insert->Respuesta.
- Ir añadiendo las variables creadas. El número de replicaciones y las salidas serán los estadísticos creados.



- Seleccionar todos los casos y simularlos (30 rep).

Process Analyzer - [AnalisisCasos.pan]

File Edit View Insert Tools Run Help

Project Items Display

- Scenarios
  - Escenario ... Visible
  - Aumenta 2... Visible
  - Aumenta 1-3 Visible
  - Aumenta ... Visible
  - Aumenta ... Visible
  - Scenario 1 Visible
- Controls
  - Capacidad... Visible
  - Capacidad... Visible
  - Capacidad... Visible
  - Capacidad... Visible
  - Num Reps Visible
- Responses
  - Total WIP Visible
  - Piezas Proc Visible
- Charts

Scenario Properties				Controls					Responses	
S	Name	Program File	Reps	Capacidad Maquina 1	Capacidad Maq 3 Nueva	Capacidad Maquina 2	Capacidad Maquina 4	Num Reps	Total WIP	Piezas Proc
1	Escenario No	20 : Model_Basic_	30	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	30	49.333	145.067
2	Aumenta 2-4	20 : Model_Basic_	30	1.0000	1.0000	2.0000	2.0000	30	44.233	151.500
3	Aumenta 1-3	20 : Model_Basic_	30	2.0000	2.0000	1.0000	1.0000	30	41.333	152.367
4	Aumenta maq	20 : Model_Basic_	30	3.0000	1.0000	1.0000	1.0000	30	47.833	146.533
5	Aumenta Maq	20 : Model_Basic_	30	2.0000	1.0000	2.0000	1.0000	30	44.833	147.767
6	Scenario 1	20 : Model Basic	30	2.0000	2.0000	1.0000	1.0000	30	41.333	152.367

Double-click here to add a new scenario.