

### Modelo de simulación en SIMIO utilizado para reflejar el estado actual del servicio de impresión 3D durante la semana de parciales

A partir del siguiente modelo de simulación se recrearon las actividades desempeñadas durante las semanas de parciales en las instalaciones del Centro de Automatización de Procesos entre el año 2019 a 2020-1, teniendo en cuenta los tiempos de impresión de los pedidos realizados durante este periodo, una distribución de carga de 63,27% para la impresora 3D40 y 36,73% para la 3D20 (no se tuvo en cuenta la impresora 3DI3, Core XY y Sprinter debido a que estas actualmente no se encuentran operando y las impresoras seleccionadas atienden más del 80% de la carga atribuible a las máquinas), así como un porcentaje de averió de máquinas correspondiente a 2,42% para la máquina 3D40 y 6,94% para la 3D20, cuyos valores fueron extraídos del [Anexo 8]. Así mismo, teniendo en cuenta el horario académico del monitor durante el año 2019-1 (como se muestra en la Tabla LIV) fue posible recrear espacios de trabajo específicos en los que este se habría desplazado a las instalaciones para desempeñar su labor como monitor, lo cual se puede notar de manera precisa mediante la Fig. 62.

TABLA LIV.  
HORARIO DE LA MONITORA DURANTE EL  
SEMESTRE 2019-1

Horas	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
7-8					
8-9					
9-10					
10-11					
11-12					
12-1					
1-2					
2-3					
3-4					
4-5					
5-6					

Day Patterns						
Name	Description					
HorarioLunes	Standard 8-5 Work Day					
Work Periods						
Start Time	Duration	End Time	Value	Cost Multiplier	Description	
12:00 a. m.	7 hours	7:00 a. m.	0	1		
7:00 a. m.	2 hours	9:00 a. m.	1	1		
9:00 a. m.	15 hours	12:00 a. m.	0	1		
HorarioMartes	Standard 8-5 Work Day					
HorarioMiercoles	Standard 8-5 Work Day					
HorarioJueves	Standard 8-5 Work Day					
HorarioViernes	Standard 8-5 Work Day					

Fig. 62. Horarios de atención de pedidos registrados en SIMIO

De esta forma, a partir de las casillas azules fue posible observar los espacios en los que el monitor se encontraba en clase, los rosados donde se destinaron las actividades relacionadas a la impresión 3D (suposición del equipo de diseño para facilitar la medición) y, las amarillas y negras donde el operario contaba con espacio libre. Por otro lado, para determinar los tiempos de impresión fueron realizadas pruebas de bondad mediante el método de máxima verosimilitud arrojado por Minitab, para examinar el comportamiento que estos siguieron durante el periodo de estudio y así determinar tiempos de procesamiento aleatorios.

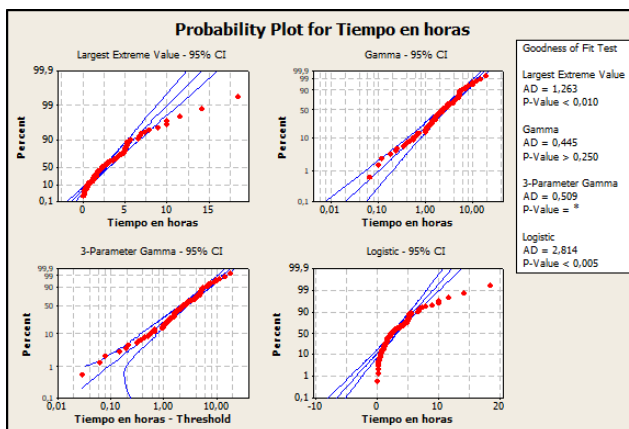


Fig. 63. Gráfico de prueba de bondad de ajuste.

Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P	LRT P
Normal	5,111	<0,005	
Lognormal	1,695	<0,005	
3-Parameter Lognormal	0,418	*	0,000
Exponential	2,479	0,003	
2-Parameter Exponential	2,144	<0,010	0,021
Weibull	0,552	0,169	
3-Parameter Weibull	0,595	0,128	0,222
Smallest Extreme Value	14,373	<0,010	
Largest Extreme Value	1,263	<0,010	
Gamma	0,445	>0,250	
3-Parameter Gamma	0,509	*	0,578
Logistic	2,814	<0,005	
Loglogistic	0,917	0,009	
3-Parameter Loglogistic	0,558	*	0,063

Fig. 64. Resumen de pruebas de hipótesis.

De esta forma, tal como se puede observar mediante la Fig. 63 y 64, para la generación de dicha variable aleatoria se seleccionó una distribución Gamma debido a su proximidad con los tiempos de impresión presentados durante el año 2019 a 2020-1, para ello se tuvo en consideración un parámetro de escala y forma

de 2,200 y 1,449 respectivamente, los cuales fueron arrojados por Minitab y se procedió a confirmar que el comportamiento de la gráfica resultante fuera semejante al presentado durante el periodo de evaluación.

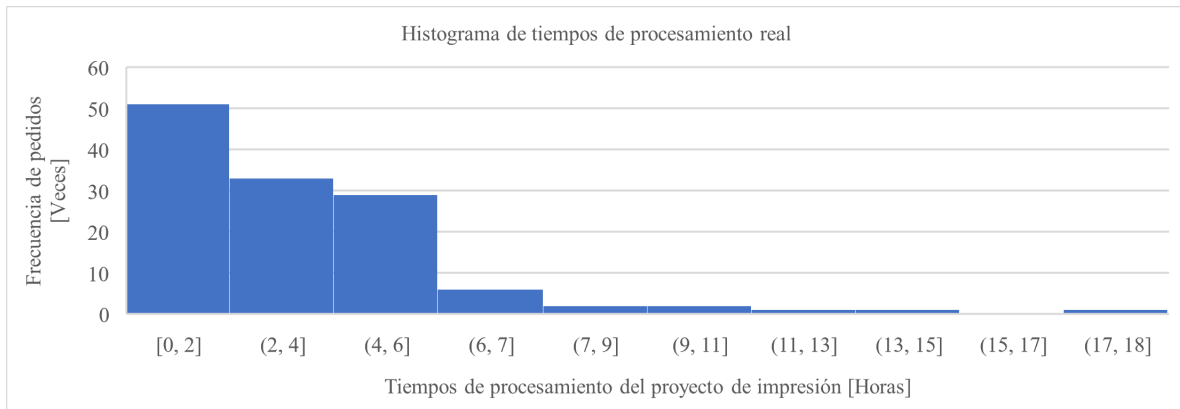


Fig. 65. Histograma de tiempo de procesamiento de pedidos realizados durante el 2019 a 2020-1

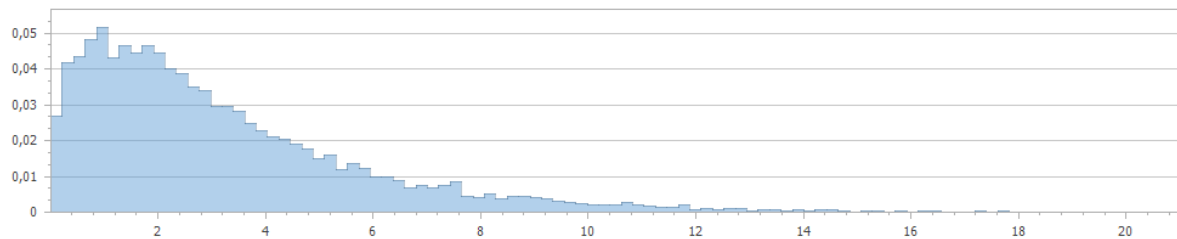


Fig. 66. Diagrama obtenido por el software SIMIO según la distribución escogida

A partir de la Fig. 65 y 66 es posible notar que ambos diagramas poseen un comportamiento similar, por lo cual la distribución escogida muestra de manera acorde los tiempos de procesamiento. Por otra parte, en el propósito de realizar una descripción general del modelo de simulación desarrollado, a continuación, es posible apreciar el esquema ingresado a SIMIO para la simulación del servicio de impresión 3D ejecutado en el CAP.

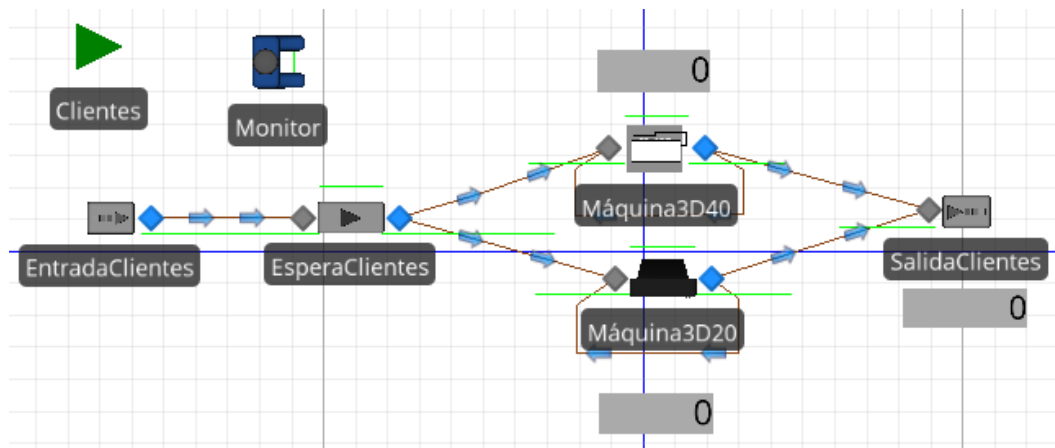


Fig. 67. Modelo de simulación que representa el actual servicio de impresión 3D en el CAP

Así pues, mediante la Fig. 67 es posible notar que inicialmente los pedidos de clientes que entran a las instalaciones son atendidos según la disponibilidad del operario (si el operario no se encuentra para atenderlos o está realizando una actividad de monte o desmonte, los pedidos permanecen en cola en el server “EsperaClientes”) de esta forma una vez el operario esté disponible para realizar el pedido mediante el *timethat*

que separa el *server* “EsperaClientes” de la máquina de impresión se contabiliza el tiempo de parametrización y montaje de la pieza (correspondiente a 5 minutos). Luego, al haber transcurrido este tiempo los pedidos pasan a ser procesados en el *server* “Máquina3D20” o “Máquina3D40” donde se les aplica la distribución Gamma antes mencionada para generar un tiempo de procesamiento aleatorio. Por último, la máquina al finalizar los pedidos permanece bloqueada interrumpiendo la ejecución de un nuevo proyecto de impresión hasta que el operario pase a verificar el proceso. Una vez el operario se encuentre en su puesto de trabajo si el pedido no cumple las especificaciones (lo cual es simulado según el porcentaje de averió de máquinas presentado en primer lugar) pasa nuevamente a ser reprocesado con un *timepath* que conecta la salida del *server* a la entrada del mismo con una duración de 5 minutos, sin embargo, si este fue realizado de manera correcta mediante el *timepath* ubicado entre el *server* y la salida de cliente se contabilizar el tiempo de desmonte de la pieza (correspondiente a 1,63 minutos).

Por otro lado, para la verificación del modelo no fue determinado un periodo de calentamiento dado que durante la semana de parciales se atiende un número finito de usuarios y la demanda presentada durante el periodo es inestable, por lo cual si fuera tomado un número aleatorio para este parámetro el análisis de salida se encontraría sesgado. No obstante, para realizar la simulación se tuvo en cuenta la cantidad de pedidos realizada durante las diferentes semanas incluidas en el estudio [Anexo 8] como se puede observar en las *EntitiesPerArrival* de la Fig. 68, de manera que la longitud de la simulación se mantuvo como “sin especificar”, tal que una vez fuera atendida la totalidad de la demanda, el modelo fuera detenido. Así mismo, se realizaron 30 réplicas para cada escenario, de forma que la variable a medir proporcionara un mayor grado de confianza y no presentara alteraciones significativas en los resultados del modelo.

Scenario			Replications		Controls	Responses			
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	EntitiesPerArrival	UtilizaciónOperario	Tardanza (Days)	Utilización3D20	Utilización3D40
<input checked="" type="checkbox"/>	10Pedidos	Comple...	30	30 of 30	10	0,0566389	0,598107	0,0639082	0,0979614
<input checked="" type="checkbox"/>	26Pedidos	Comple...	30	30 of 30	26	0,147956	1,74676	0,109054	0,169201
<input checked="" type="checkbox"/>	31Pedidos	Comple...	30	30 of 30	31	0,177386	2,62212	0,116245	0,178599
<input checked="" type="checkbox"/>	49Pedidos	Comple...	30	30 of 30	49	0,280308	6,33824	0,121468	0,187752

Fig. 68. Análisis de tardanza y capacidad de las máquinas y operarios

Finalmente, al haber *corrido* el modelo de simulación se obtuvo como resultado el porcentaje de utilización del operario y las máquinas, así como la tardanza en la atención de pedidos en días. De esta manera, es posible notar mediante la Fig.68 que las máquinas permanecen trabajando menos del 20% de la jornada de trabajo en el Centro de Automatización de Procesos, lo cual se debe a que el operario limita el sistema (cuello de botella) al realizar su trabajo durante dos horas consecutivas dado que la carga que puede asignar a las máquinas durante este intervalo es relativamente baja y su utilización durante su intervalo de trabajo también lo es. De esta forma, al observar la tardanza en días es posible notar que, al tener diez pedidos a realizar durante una semana, la atención de los mismos en promedio puede tardar menos de un día (15 horas aproximadamente), sin embargo, a medida que aumenta la cantidad de pedidos, la tardanza incrementa, tal que, al tener una demanda de 49 pedidos, los atrasos promedios en la atención se remontan a 6,34 días (6 días y 8 horas aproximadamente), como puede ser observado mejor mediante la Fig. 69.

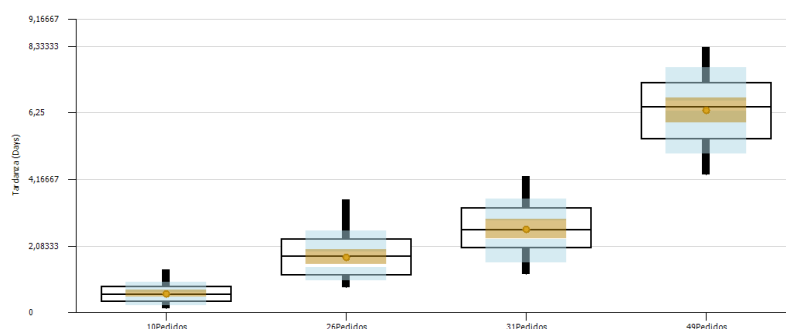


Fig. 69. Diagramas de cajas y bigotes de la tardanza en días de la atención de pedidos.

Fecha de elaboración: 30/10/2020.

Elaborado por: Integrantes del grupo de diseño  
Andrea Ramírez, Daniel Alejandro Segura