

CAPITULO III  
EVALUACION DE EFECTIVIDAD

Para evaluar la efectividad del algoritmo, se realizó un modelo simulando un piso de producción con 8 estaciones de trabajo y tres operaciones. Este piso de producción se puso a prueba bajo tres escenarios diferentes: Usando el algoritmo propuesto, usando la política primero en entrar primero en salir (FIFO), y la política de seleccionar el trabajo con el mínimo tiempo de proceso (SPT). Ambos escenarios tuvieron el mismo arreglo de máquinas, los mismos trabajos, los mismos arribos y las mismas restricciones en capacidad de cola y mantenimiento en las máquinas. Para realizar un análisis más profundo, estos escenarios se pusieron a prueba bajo tres niveles de saturación de trabajo, de tal manera que se observara el comportamiento del sistema teniendo un alto flujo de trabajo en proceso, un mediano y bajo flujo de trabajo en proceso. Se realizaron diez corridas independientes para cada caso y así se obtuvieron datos confiables que se compararon posteriormente. A continuación se describe el modelo al igual que los resultados.

**3.1 Modelo**

El modelo está constituido por:

<b>Máquina</b>	<b>Cap. de Cola</b>	<b>Ciclo Mantto.</b>	<b>Duración Mantto.</b>
1 Op.10	150 18 Hrs.	Dist. Gamma	(2,15)
2 Op.10	150 30 Hrs.	Dist. Gamma	(2,15)

3 Op.10 150 24 Hrs. Dist. Gamma (2,15)  
 1 Op.20 150 26 Hrs. Dist. Gamma (2,15)  
 2 Op.20 150 32 Hrs. Dist. Gamma (2,15)  
 3 Op.20 150 20 Hrs. Dist. Gamma (2,15)  
 1 Op.30 150 28 Hrs. Dist. Gamma (2,15)  
 2 Op.30 150 34 Hrs. Dist. Gamma (2,15)

**Distancias**

	Inicio	m 1	m 2	m 3	m 4	m 5	m 6	m 7	m 8	Término
<b>Inicio</b>	-	3.2	3.6	3.8	-	-	-	-	-	-
<b>m 1</b>	-	-	-	-	3.1	4.9	3.3	-	-	-
<b>m 2</b>	-	-	-	-	3.6	4.6	3.7	-	-	-
<b>m 3</b>	-	-	-	-	3.9	4.1	3	-	-	-
<b>m 4</b>	-	-	-	-	-	-	-	5.2	5.9	-
<b>m 5</b>	-	-	-	-	-	-	-	5.5	5.8	-
<b>m 6</b>	-	-	-	-	-	-	-	5.3	5.1	-
<b>m 7</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.1
<b>m 8</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.3
<b>Término</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Cuadro 1 Matriz de distancias**

**Arribos**

Exponencial (11) Sistema Saturado

Exponencial (14) Sistema con mediana congestión

Exponencial (30) Sistema con baja congestión

**Tiempos de Operación para los trabajos**

**\*\*(incluye tiempo de preparación)**

Op. 10 Gamma (1,35)

Op. 20 Gamma (1.3,28)

Op. 30 Gamma (1,25)

Notas:

- a) Tiempo en minutos excepto donde se indica.
- b) Distribución Gamma (Alfa, Beta)
- c) Distribución Exponencial (Media)

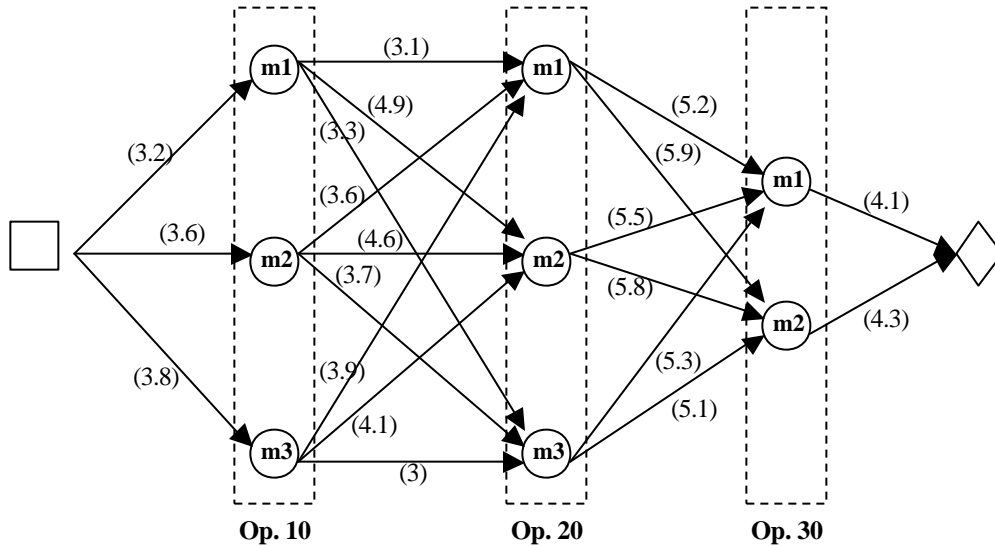


figura 3 Sistema Simulado

### 3.2 Concentrado de resultados

La simulación se corrió 10 veces durante 130,000 minutos, teniendo un periodo de calentamiento de 10,000 minutos. Los parámetros que se tomaron para evaluar la efectividad fueron: Tiempo promedio de flujo (tiempo que tarda un trabajo en salir del trabajo desde que entra), distribución uniforme de la carga de trabajo en la maquinaria de una misma operación y tiempos muertos (tiempo de cola y tiempo durante el cual el trabajo en proceso se encuentra bloqueado).

Los resultados fueron los siguientes:

**ALGORITMO PROPUESTO (tiempo en minutos)**

	Congestionamiento					
	Alto		Medio		Bajo	
	Promedio	Int.Conf. 95%	Promedio	Int.Conf. 95%	Promedio	Int.Conf. 95%
Cola Maq.1 Op.10	180.18	0.36	28.7973	1.78	1.9513	0.1
Cola Maq.2 Op.10	178.63	0.23	29.9187	1.99	2.3928	0.19
Cola Maq.3 Op.10	179.08	0.35	28.3745	1.78	1.767	0.09
Cola Maq.1 Op.20	161.62	0.52	19.0349	2.51	1.0861	0.07
Cola Maq.2 Op.20	161.07	0.65	19.1691	2.45	1.4392	0.15
Cola Maq.3 Op.20	161.31	0.67	19.1954	2.48	1.0389	0.05
Cola Maq.1 Op.30	140.55	1.53	26.2207	2.55	2.0805	0.1
Cola Maq.2 Op.30	140.32	1.41	26.1886	2.52	2.2359	0.09
Util.Maq.1 Op.10	0.9886	0.000598	0.864	0.00555	0.4945	0.00352
Util.Maq.2 Op.10	0.9935	0.000545	0.7845	0.00926	0.2278	0.00489
Util.Maq.3 Op.10	0.992	0.000691	0.8513	0.00712	0.4456	0.00307
Util.Maq.1 Op.20	0.9926	0.000377	0.8807	0.00536	0.5039	0.00471
Util.Maq.2 Op.20	0.9936	0.000639	0.8472	0.0084	0.2666	0.00553
Util.Maq.3 Op.20	0.9933	0.000546	0.8768	0.00735	0.4457	0.00356
Util.Maq.1 Op.30	0.9898	0.000579	0.8908	0.00764	0.4258	0.0034
Util.Maq.2 Op.30	0.9918	0.000483	0.8961	0.00695	0.4089	0.00414
Bloqueo Op. 10	8.6383	0.1	4.1665	3.28	0	0
Bloqueo Op. 20	7.2979	0.11	5.2728	2.29	1.4323	2.45
Tiempo de Flujo	598.19	2.09	187.75	6.12	118.24	0.21

**Cuadro 2** Concentrado de resultados del modelo del algoritmo propuesto

Quando el sistema se encuentra saturado, se tiene una mejor repartición de carga de trabajo entre la maquinaria de una misma operación. Esta característica también se aprecia en un nivel medio de congestionamiento, aunque el equilibrio ya no es tan marcado. Cuando el congestionamiento es bajo, se aprecia ya un desequilibrio en la carga. En términos generales, se logra equilibrar el tamaño de cola en toda la maquinaria, ya sea en un sistema saturado o

no. Una característica que se aprecia es que el bloqueo del trabajo dentro del sistema, va disminuyendo conforme va disminuyendo el congestionamiento, esto es razonable debido a que se tiene menor número de trabajos en proceso dentro del sistema.

A continuación se presentan los datos obtenidos al someter el mismo modelo, a dos políticas diferentes: FIFO y SPT (First In First Out, Shortest Processing Time). Estas políticas se emplearon para introducir los trabajos al sistema. Una vez que se terminaba el proceso en una máquina, el trabajo se dirigía a la máquina de la siguiente operación que tuviera menor tiempo en la cola, como normalmente se usaría en un piso de producción, esto sin tomar en cuenta que fuera la ruta más corta para llegar al final del sistema.

	Alto Congestionamiento					
	Algoritmo Propuesto		FIFO		SPT	
	Promedio	Int.Conf. 95%	Promedio	Int.Conf. 95%	Promedio	Int.Conf. 95%
Cola Maq.1 Op.10	180.18	0.36	179.97	0.31	180.15	0.41
Cola Maq.2 Op.10	178.63	0.23	178.92	0.29	179.01	0.31
Cola Maq.3 Op.10	179.08	0.35	178.92	0.29	178.77	0.42
Cola Maq.1 Op.20	161.62	0.52	161.59	0.59	161.7	0.5
Cola Maq.2 Op.20	161.07	0.65	160.87	0.42	160.88	0.47
Cola Maq.3 Op.20	161.31	0.67	161.3	0.45	161.44	0.61
Cola Maq.1 Op.30	140.55	1.53	139.75	1.48	141.67	1.7
Cola Maq.2 Op.30	140.32	1.41	139.5	1.45	144.85	1.87
Util. Maq.1 Op.10	0.9886	0.000598	0.9886	0.000667	0.9887	0.000748
Util. Maq.2 Op.10	0.9935	0.000545	0.9932	0.000699	0.9934	0.000421
Util. Maq.3 Op.10	0.992	0.000691	0.9914	0.000341	0.9918	0.000271
Util. Maq.1 Op.20	0.9926	0.000377	0.9921	0.000665	0.9921	0.000521
Util. Maq.2 Op.20	0.9936	0.000639	0.9936	0.000451	0.9939	0.000521
Util. Maq.3 Op.20	0.9933	0.000546	0.9933	0.000348	0.9934	0.000527
Util. Maq.1 Op.30	0.9898	0.000579	0.9899	0.000562	0.9899	0.000575
Util. Maq.2 Op.30	0.9918	0.000483	0.9917	0.000618	0.9919	0.000621
Bloqueo Op. 10	8.6383	0.1	8.6034	0.1	8.5873	0.13
Bloqueo Op. 20	7.2979	0.11	7.3997	0.13	8.8073	0.15
Tiempo de Flujo	598.19	2.09	597.26	1.93	601.03	2.27

**Cuadro 3** Concentrado de resultados para los modelos con alto congestionamiento

Los datos muestran un equilibrio en las colas de la maquinaria para los tres casos, inclusive los valores son muy similares. Por otro lado, también el porcentaje de utilidad es parecido en los tres modelos, mostrando una repartición de carga de trabajo adecuada en la maquinaria. Los valores del nivel de bloqueo dentro del sistema (operaciones 10 y 20), son muy cercanos entre las dos políticas y el algoritmo propuesto. Por último, se aprecia que el tiempo de flujo es similar con la política FIFO y ligeramente menor que la política SPT. Esto es debido a que los valores de los tiempos de cola, las utilidades de

maquinaria y los bloqueos internos del sistema son muy parecidos. En el estado de saturación del sistema, no se aprecia alguna ventaja en la operación del algoritmo sobre las otras políticas, sin embargo, las otras políticas no muestran ser mejores que el algoritmo propuesto, simplemente se obtienen las mismas ventajas para los tres casos.

	Medio Congestionamiento					
	Algoritmo Propuesto		FIFO		STP	
	Promedio	Int.Conf. 95%	Promedio	Int.Conf. 95%	Promedio	Int.Conf. 95%
Cola Maq.1 Op.10	28.7973	1.78	38.8478	2.07	38.9364	1.97
Cola Maq.2 Op.10	29.9187	1.99	39.5434	2.14	38.2512	2.09
Cola Maq.3 Op.10	28.3745	1.78	38.0834	2.09	38.512	2.23
Cola Maq.1 Op.20	19.0349	2.51	31.1709	2.74	31.4042	2.52
Cola Maq.2 Op.20	19.1691	2.45	31.0226	2.39	30.3169	2.45
Cola Maq.3 Op.20	19.1954	2.48	30.839	2.69	30.8664	2.34
Cola Maq.1 Op.30	26.2207	2.55	30.6257	2.52	29.9367	2.48
Cola Maq.2 Op.30	26.1886	2.52	30.0451	2.61	30.1908	2.51
Util. Maq.1 Op.10	0.864	0.00555	0.8694	0.04	0.847	0.06
Util. Maq.2 Op.10	0.7845	0.00926	0.7857	0.06	0.8445	0.05
Util. Maq.3 Op.10	0.8513	0.00712	0.8451	0.05	0.8086	0.06
Util. Maq.1 Op.20	0.8807	0.00536	0.851	0.07	0.8899	0.06
Util. Maq.2 Op.20	0.8472	0.0084	0.8818	0.06	0.8477	0.06
Util. Maq.3 Op.20	0.8768	0.00735	0.8721	0.06	0.8671	0.06
Util. Maq.1 Op.30	0.8908	0.00764	0.8878	0.03	0.8896	0.02
Util. Maq.2 Op.30	0.8961	0.00695	0.8992	0.03	0.8974	0.02
Bloqueo Op. 10	4.1665	3.28	4.169	2.57	4.0134	2.59
Bloqueo Op. 20	5.2728	2.29	6.302	1.45	7.903	2.46
Tiempo de Flujo	187.75	6.12	213.59	6.39	212.93	5.93

**Cuadro 4** Concentrado de resultados para los modelos con congestionamiento moderado

Al tener el congestionamiento en un nivel medio, se empiezan a observar las ventajas del algoritmo propuesto. El equilibrio en las colas de la maquinaria es adecuado para los tres casos, sin embargo, el

tamaño de cola con el algoritmo propuesto es menor que las otras dos políticas, lo que habla de una reducción en los tiempos muertos, que se verá reflejado posteriormente en el tiempo de flujo.

La distribución de la carga de trabajo permanece equilibrada para los tres modelos.

Por otro lado, se puede apreciar una disminución del trabajo que permanece bloqueado dentro del sistema, inclusive es menor el bloqueo que se tiene usando el algoritmo en comparación con las otras dos políticas. Además de esta ventaja, el tiempo de flujo también es menor en el modelo que utiliza el algoritmo propuesto.



	Bajo Congestionamiento					
	Algoritmo Propuesto		FIFO		STP	
	Promedio	Int.Conf. 95%	Promedio	Int.Conf. 95%	Promedio	Int.Conf. 95%
Cola Maq.1 Op.10	1.9513	0.1	11.5307	0.9	12.4946	0.25
Cola Maq.2 Op.10	2.3928	0.19	10.368	1.03	9.0237	0.77
Cola Maq.3 Op.10	1.767	0.09	8.6769	1	7.6646	1.13
Cola Maq.1 Op.20	1.0861	0.07	10.3158	1.62	11.3375	1.39
Cola Maq.2 Op.20	1.4392	0.15	10.0413	1.46	8.5612	1.82
Cola Maq.3 Op.20	1.0389	0.05	6.7538	1.68	6.7575	1.56
Cola Maq.1 Op.30	2.0805	0.1	4.8797	0.38	4.9018	0.16
Cola Maq.2 Op.30	2.2359	0.09	4.3909	0.59	3.9228	0.41
Util.Maq.1 Op.10	0.4945	0.00352	0.4521	0.14	0.6661	0.06
Util.Maq.2 Op.10	0.2278	0.00489	0.4545	0.12	0.278	0.08
Util.Maq.3 Op.10	0.4456	0.00307	0.2612	0.08	0.2238	0.09
Util.Maq.1 Op.20	0.5039	0.00471	0.4656	0.18	0.6246	0.16
Util.Maq.2 Op.20	0.2666	0.00553	0.5203	0.13	0.385	0.17
Util.Maq.3 Op.20	0.4457	0.00356	0.2303	0.11	0.2066	0.07
Util.Maq.1 Op.30	0.4258	0.0034	0.3943	0.1	0.5477	0.09
Util.Maq.2 Op.30	0.4089	0.00414	0.4404	0.1	0.287	0.09
Bloqueo Op. 10	0	0	0	0	0	0
Bloqueo Op. 20	1.4323	2.45	5.5908	6.76	1.9713	3.61
Tiempo de Flujo	118.24	0.21	139.65	0.38	139.39	0.39

**Cuadro 5** Concentrado de resultados para los modelos con bajo congestionamiento

Nuevamente los datos arrojan un equilibrio en las colas de la maquinaria, sin embargo, para este nivel de congestionamiento, el tamaño de cola es considerablemente menor a los tamaños de cola que se obtienen con las otras políticas. En este caso, no se tiene una distribución uniforme en la carga de trabajo de la maquinaria de la misma operación.

El bloqueo se obtiene sólo en la operación 20, siendo menor en el algoritmo propuesto que en las otras dos políticas.

Por último, se vuelve a confirmar que el tiempo de flujo es menor cuando se utiliza el algoritmo presentado en comparación con las políticas FIFO y SPT.