

# Capítulo 5

## Resultados del equilibrado de las líneas de montaje MA

### *5.1 Modelo FURIA-XP6*

En este apartado se presenta los resultados obtenidos con el modelo FURIA-XP6. Se muestra en un primer lugar la situación que presenta el escenario MA. Y a continuación los resultados obtenidos con: método Pesos Posicionales Modificados (PPM) y el algoritmo de búsqueda en vecindad (ABV). Finalmente se realiza un análisis comparativo de las tres situaciones.

#### **5.1.1 Escenario MA**

En la Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16 se presenta la situación de la línea de montaje en MA para el modelo FURIA-XP6, en la que se puede observar:

- Orden de las operaciones dentro de cada estación.
- Operario que realiza la operación.
- Tiempo de cada estación.

Equilibrado de líneas de montaje de una fábrica de Motocicletas

**Tabla 13. Escenario MA. Estación 1. FURIA-XP6.**

	OPERACIONES	Operarios			Operarios		
		dcha.	Ambos	izq.	dcha.	Ambos	izq.
ESTACIÓN 1	Chasis delantero		x			0:00:10	
	Horquilla		x			0:00:22	
	Basculante	x			0:00:35		
	Cogida trasera	x			0:00:34		
	Amortiguador	x			0:00:37		
	Manillar + guiar instalación			x			0:01:16
	<b>Tiempo muerto</b>						<b>0:00:31</b>
	Motor		x			0:01:22	
	Eje rueda trasera			x			0:00:09
	Equipo de freno trasero			x			0:00:06
	Rueda trasera			x			0:01:00
	Eje rueda delantera	x			0:00:06		
	Reenvío-Cable cuentakilómetros (dcha.)	x			0:00:32		
	Rueda delantera	x			0:01:07		
	<b>Tiempo muerto</b>						<b>0:00:30</b>
	Chasis trasero		x			0:02:15	
	Pinza de freno delantero			x			0:01:04
Equipo de freno trasero (conectar)	x			0:00:32			
Ins. eléctrica (guiar chasis)	x			0:02:20			
<b>Tiempo total de estación</b>				<b>0:06:24</b>	<b>0:04:08</b>	<b>0:04:36</b>	
					<b>0:10:32</b>		

**Tabla 14. Escenario MA. Estación 3. FURIA-XP6.**

	OPERACIONES	Operarios			Operarios		
		dcha.	Ambos	izq.	dcha.	Ambos	izq.
ESTACIÓN 2	Pedal de freno	x			0:00:37		
	Conectar carburador	x			0:03:12		
	Instalación del motor			x			0:04:19
	Rejilla radiador izq.			x			0:01:04
	<b>Tiempo muerto</b>				<b>0:01:34</b>		
	Instalación eléctrica (manillar)		x			0:03:14	
	Guía cable de embrague	x			0:00:52		
	Radiador	x			0:00:24		
	Rejilla radiador dcha.	x			0:00:43		
	Depósito aceite	x			0:01:22		
	Depósito aceite (poner tornillo)	x			0:00:21		
	Manguito ais a caja de filtro	x			0:00:30		
	Cadena			x			0:03:02
	<b>Tiempo total de estación</b>				<b>0:09:35</b>	<b>0:03:14</b>	<b>0:08:25</b>
					<b>0:12:49</b>		

Equilibrado de líneas de montaje de una fábrica de Motocicletas

**Tabla 15. Escenario MA. Estación 3. FURIA-XP6.**

	OPERACIONES	Operarios			Operarios		
		dcha.	Ambos	izq.	dcha.	Ambos	izq.
<b>ESTACIÓN 3</b>	Llenado Aceite	x			0:00:20		
	Anticongelante radiador	x			0:00:41		
	Guía latiguillo dcha.	x			0:00:28		
	<b>Tiempo muerto</b>				<b>0:00:45</b>		
	Guardabarro delantero ( solo MA)	x			0:00:40		
	<b>Tiempo muerto</b>				<b>0:00:05</b>		
	Manguito válvula de escape (dcha.)	x			0:00:20		
	Colector			x			0:00:50
	Conectar cable de embrague			x			0:00:23
	Cubre piñón			x			0:00:27
	Guía latiguillo izq.			x			0:00:35
	Tubo escape			x			0:00:45
	Silencioso			x			0:00:41
	<b>Tiempo muerto</b>				<b>0:00:21</b>		
	Porta faro (solo MA)		x			0:02:05	
<b>Tiempo total de estación</b>				<b>0:03:40</b>	<b>0:02:05</b>	<b>0:03:40</b>	
					<b>0:05:45</b>		

**Tabla 16. Escenario MA. Estación 4. FURIA-XP6.**

	OPERACIONES	Operarios			Operarios		
		dcha.	Ambos	izq.	dcha.	Ambos	izq.
<b>ESTACIÓN 4</b>	<b>Tiempo muerto</b>						<b>0:01:15</b>
	Guardabarros trasero			x			0:00:31
	Porta matrícula	x			0:01:15		
	<b>Tiempo muerto</b>				<b>0:00:31</b>		
	Guardabarros-Porta matrícula (unir)		x			0:00:50	
	Intermitente trasero izq.			x			0:00:25
	<b>Tiempo muerto</b>						<b>0:00:26</b>
	Tapa trasera izq.			x			0:01:13
	Tapa delantera izq.			x			0:00:47
	Asiento			x			0:00:57
	Brida depósito gasolina	x			0:00:38		
	Depósito gasolina	x			0:00:14		
	Tapa trasera dcha.	x			0:01:00		
	Tapa delantera dcha.	x			0:00:56		
	Intermitente dcha. trasero	x			0:00:59		
	Carcasa Porta matrícula	x			0:00:18		
	Respiradero tapón gasolina	x			0:00:11		
	<b>Tiempo total de estación</b>				<b>0:06:04</b>	<b>0:00:50</b>	<b>0:06:01</b>
					<b>0:06:54</b>		

Para obtener el tiempo de cada estación se calcula el camino crítico, para ello es necesario obtener los tiempos muertos de cada operario (tiempo que un operario

espera al otro, bien porque tienen que realizar una operación ambos ó porque necesita que su compañero haya finalizado una operación para poder realizar su correspondiente tarea). Se suman los tiempos de ejecución de las operaciones y los tiempos muertos de cada operario, por tanto, se obtiene el tiempo que el operario tarda en realizar todas sus tareas. A continuación se obtiene el tiempo de cada estación, que corresponde al tiempo máximo de cada operario más la suma de los tiempos de las operaciones que realizan conjuntamente.

En las anteriores tablas se puede observar el tiempo de cada estación. Con estos tiempos se calcula el tiempo de ciclo de una motocicleta modelo FURIA-XP6, en escenario MA con cuatro estaciones en la línea.

El tiempo de ciclo es el tiempo máximo de las cuatro estaciones: 12 minutos con 49 segundos que se da en la segunda estación, siendo por tanto dicha estación el cuello de botella. Esto implica que las demás estaciones deben esperar a que la segunda estación finalice para comenzar a montar otra motocicleta.

### **5.1.2 Propuesta Pesos Posicionales Modificado (PPM)**

A continuación se muestra en la Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20 solución obtenida aplicando el método heurístico de los *Pesos Posicionales Modificado*. En estas tablas se puede observar la nueva secuenciación de las operaciones en cada estación y el tiempo que se tarda en realizar todas las operaciones en cada estación.

Equilibrado de líneas de montaje de una fábrica de Motocicletas

**Tabla 17. Propuesta PPM. Estación 1. FURIA-XP6.**

	Nombre	Operario			Operario		
		dcha.	Ambos	izq.	dcha.	Ambos	izq.
<b>ESTACIÓN 1</b>	Chasis delantero		X			0:00:10	
	Horquilla		X			0:00:22	
	Motor			X			0:01:22
	Basculante	X			0:00:35		
	Cogida trasera	X			0:00:34		
	Amortiguador	X			0:00:37		
	Manillar + guiar instalación						
	<b>Manillar + guiar instalación</b>			X			0:01:16
	<b>Guía cable de embrague</b>			X			0:00:52
	Eje rueda delantera			X			0:00:06
	Reenvío-Cable cuentakilómetros (dcha.)			X			<b>0:00:32</b>
	Rueda delantera			X			0:01:07
	Pinza de freno delantero			X			0:01:04
	Chasis trasero	X			0:02:15		
	Eje rueda trasera	X			0:00:09		
	Equipo de freno trasero	X			0:00:06		
	Rueda trasera	X			0:01:00		
	Pedal de freno	X			0:00:37		
				0:05:53	0:00:32	0:06:19	
					<b>0:06:51</b>		

**Tabla 18. Propuesta PPM. Estación 2. FURIA-XP6.**

	Nombre	Operario			Operario		
		dcha.	Ambos	izq.	dcha.	Ambos	izq.
<b>ESTACIÓN 2</b>	Instalación eléctrica						
	<b>Ins. eléctrica (guiar chasis)</b>	X			0:02:20		
	<b>Conectar carburador</b>	X			0:03:12		
	Instalación del motor						
	<b>Manguito ais a caja de filtro</b>			X			0:00:30
	<b>Instalación del motor</b>			X			0:04:19
	Porta matrícula			X			0:01:15
	Depósito aceite	X			0:01:22		
				0:06:54	0:00:00	0:06:04	
					<b>0:06:54</b>		

**Tabla 19. Propuesta PPM. Estación 3. FURIA-XP6.**

	Nombre	Operario			Operario		
		dcha.	Ambos	izq.	dcha.	Ambos	izq.
<b>ESTACIÓN 3</b>	Instalación eléctrica( manillar)						
	<b>Cable de embrague conectar</b>	X			0:00:23		
	<b>Instalación eléctrica (manillar)</b>	X			0:03:14		
	Guardabarro trasero			X			0:00:31
	Cadena			X			0:03:02
	<b>Tiempo muerto</b>						<b>0:00:04</b>
	Guía latiguillo izq.			X			0:00:35
	Guardabarros-Porta matrícula (unir)			X			0:00:50
	<b>Tiempo muerto</b>				<b>0:00:07</b>		
	Guía latiguillo dcha.	X			0:00:28		
	Porta faro (solo MA)	X			0:02:05		
	Rejilla radiador izq.			X			0:01:04
	Colector			X			0:00:50
	Radiador	X			0:00:24		
				0:06:41	0:00:00	0:06:56	
					<b>0:06:56</b>		

**Tabla 20. Propuesta PPM. Estación 4.FURIA-XP6.**

	Nombre	Operario			Operario		
		dcha.	Ambos	izq.	dcha.	Ambos	izq.
<b>ESTACIÓN 4</b>	Intermitente dcha. trasero	X			0:00:59		
	Anticongelante radiador	X			0:00:41		
	Depósito aceite (poner tornillo)	X			0:00:21		
	Llenado Aceite	X			0:00:20		
	Manguito válvula de escape (dcha.)	X			0:00:20		
	Guardabarros delantero (solo MA)	X			0:00:40		
	Rejilla radiador dcha.	X			0:00:43		
	Equipo de freno trasero (conectar)	X			0:00:32		
	Cubre piñón			X			0:00:27
	Carcasa Porta matrícula			X			0:00:18
	Intermitente trasero izq.			X			0:00:25
	Tubo escape			X			0:00:45
	Silencioso			X			0:00:41
	<b>Tiempo muerto</b>						<b>0:00:05</b>
	Brida depósito gasolina			X			0:00:38
	<b>Brida depósito gasolina</b>			X			0:00:14
	Depósito gasolina			X			0:00:11
	<b>Respiradero tapón gasolina</b>			X			0:01:13
	Tapa trasera izq.			X			0:01:00
	Tapa trasera dcha.	X			0:01:00		
	Tapa delantera dcha.	X			0:00:56		
	Tapa delantera izq.			X			0:00:47
	<b>Tiempo muerto</b>						<b>0:00:48</b>
Asiento			X			0:00:57	
					0:06:32	0:00:00	0:07:29
						<b>0:07:29</b>	

Con la aplicación del método de los Pesos Posicionales Modificado se obtiene esta secuencia de las operaciones, pero para obtener el tiempo de cada estación se vuelve a calcular el camino crítico, tal y como se realizó en el escenario MA. El tiempo de ciclo es de 7 minutos y 29 segundos.

Hay que destacar que las operaciones en negrita son operaciones que se han desglosado de otra operación, para estandarizar los nombres de las operaciones con los empleados en planta de producción MA.

- Manillar + guiar instalación: Manillar + guiar instalación y guía cable de embrague.
- Instalación eléctrica: Ins. eléctrica (guiar chasis) y conectar carburador.
- Instalación del motor: manguito ais a caja de filtro e instalación del motor.
- Instalación eléctrica (manillar): cable embrague (conectar) y instalación eléctrica (manillar).
- Brida depósito gasolina: brida depósito gasolina y respiradero tapón gasolina.

### 5.1.3 Propuesta Algoritmo de búsqueda en vecindad (ABV)

El conjunto de soluciones factibles iniciales, como ya se ha mencionado anteriormente, esta formada por escenario MA y propuesta PPM. Por tanto, la secuencia (solución) seleccionada ha sido propuesta PPM.

La situación que se presenta, en la Tabla 21, Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24 , son los resultados alcanzados con la aplicación del ABV, mediante Visual Basic.

Tabla 21. Propuesta ABV. Estación 1. FURIA-XP6.

	Nombre	Operario			Operario		
		dcha.	Ambos	izq.	dcha.	Ambos	izq.
ESTACIÓN 1	Chasis delantero		X			0:00:10	
	Horquilla		X			0:00:22	
	Motor			X			0:01:22
	Basculante	X			0:00:35		
	Cogida trasera	X			0:00:34		
	Amortiguador	X			0:00:37		
	Manillar + guiar instalación						
	<b>Manillar + guiar instalación</b>			X			0:01:16
	<b>Guía cable de embrague</b>			X			0:00:52
	Eje rueda delantera			X			0:00:06
	Reenvío-Cable cuentakilómetros (dcha.)			X			<b>0:00:32</b>
	Rueda delantera			X			0:01:07
	Pinza de freno delantero			X			0:01:04
	Chasis trasero	X			0:02:15		
	Eje rueda trasera	X			0:00:09		
	Equipo de freno trasero	X			0:00:06		
	Rueda trasera	X			0:01:00		
	Pedal de freno	X			0:00:37		
					0:05:53	0:00:32	0:06:19
					<b>0:06:51</b>		

Tabla 22. Propuesta ABV. Estación 2. FURIA-XP6.

	Nombre	Operario			Operario		
		dcha.	Ambos	izq.	dcha.	Ambos	izq.
ESTACIÓN 2	Instalación eléctrica						
	<b>Ins. eléctrica (guiar chasis)</b>	X			0:02:20		
	<b>Conectar carburador</b>	X			0:03:12		
	Instalación del motor						
	<b>Manguito ais a caja de filtro</b>			X			0:00:30
	<b>Instalación del motor</b>			X			0:04:19
	Porta matrícula			X			0:01:15
	Depósito aceite	X			0:01:22		
				0:06:54	0:00:00	0:06:04	
					<b>0:06:54</b>		

## Equilibrado de líneas de montaje de una fábrica de Motocicletas

Como se puede observar estas dos estaciones no han sido modificadas, permanecen exactamente igual que en el caso de la propuesta PPM. Esto es razonable debido a eran las que menor tiempo de estación presentaban en la propuesta PPM.

**Tabla 23. Propuesta ABV. Estación 3. FURIA-XP6.**

	Nombre	Operario			Operario		
		dcha.	Ambos	izq.	dcha.	Ambos	izq.
<b>ESTACIÓN 3</b>	Instalación eléctrica( manillar)						
	<b>Cable de embrague conectar</b>	X			0:00:23		
	<b>Instalación eléctrica (manillar)</b>	X			0:03:14		
	Guardabarro trasero			X			0:00:31
	Cadena			X			0:03:02
	<b>Tiempo muerto</b>						<b>0:00:04</b>
	Guía latiguillo izq.	X			0:00:35		
	Radiador			X			0:00:24
	Guardabarros-Porta matrícula (unir)			X			0:00:50
	Guía latiguillo dcha.	X			0:00:28		
	Porta faro (solo MA)	X			0:02:05		
	Rejilla radiador izq.			X			0:01:04
	Colector			X			0:00:50
				0:06:45	0:00:00	0:06:45	
					<b>0:06:45</b>		

Se puede observar a primera vista que esta estación ha sido modificada por la reducción de su tiempo. Los cambios que se han producidos son:

- Dentro del mismo operario de la derecha: la operación radiador y porta faro (solo MA) se han intercambiado.
- Entre operarios: se intercambia el radiador y el guía latiguillo izquierda.

Tabla 24. Propuesta ABV. Estación 4. FURIA-XP6.

	Nombre	Operario			Operario		
		dcha.	Ambos	izq.	dcha.	Ambos	izq.
ESTACIÓN 4	Intermitente dcha. trasero	X			0:00:59		
	Anticongelante radiador	X			0:00:41		
	Depósito aceite (poner tornillo)	X			0:00:21		
	Llenado Aceite	X			0:00:20		
	Manguito válvula de escape (dcha.)	X			0:00:20		
	<b>Brida depósito gasolina</b>	X			0:00:38		
	Rejilla radiador dcha.	X			0:00:43		
	Tapa delantera dcha.	X			0:00:56		
	Cubre piñón			X			0:00:27
	Carcasa Porta matrícula			X			0:00:18
	Intermitente trasero izq.			X			0:00:25
	Tubo escape			X			0:00:45
	Silencioso			X			0:00:41
	Guardabarros delantero (solo MA)			X			0:00:40
	<b>Tiempo muerto</b>						<b>0:00:03</b>
	Depósito gasolina			X			0:00:14
	<b>Respiradero tapón gasolina</b>			X			0:00:11
	Tapa trasera izq.			X			0:01:13
	Tapa trasera dcha.	X			0:01:00		
	Equipo de freno trasero (conectar)	X			0:00:32		
	Tapa delantera izq.			X			0:00:47
	<b>Tiempo muerto</b>						<b>0:00:14</b>
	Asiento			X			0:00:57
				0:06:30	0:00:00	0:06:55	
					<b>0:06:55</b>		

En esta última estación se observa que también se reduce su tiempo, siendo esta el cuello botella como en la propuesta PPM. Los cambios que se realizados son los siguientes:

- Dentro del operario de la derecha: se intercambian la operación equipo de freno trasero (conectar) y tapa delantera dcha.
- Entre operarios: se cambió la operación guardabarros delantero (solo MA) y brida deposito gasolina.

#### 5.1.4 Análisis comparativo

En primer lugar se presenta la Tabla 25 donde se puede observar a primera vista los cambios en la secuencia de las operaciones en cada estación respecto al escenario MA, tras aplicar el método de los Pesos Posicionales Modificado y el algoritmo de búsqueda en vecindad.

Equilibrado de líneas de montaje de una fábrica de Motocicletas

**Tabla 25. Análisis comparativo. FURIA-XP6.**

	Operaciones	Escenario MA			Propuesta PPM			Propuesta ABV		
		Dcha.	Ambos	Izq.	Dcha.	Ambos	Izq.	Dcha.	Ambos	Izq.
ESTACIÓN 1	Chasis delantero		1			1			1	
	Horquilla		1			1			1	
	Basculante	1			1			1		
	Cogida trasera	1			1			1		
	Amortiguador	1			1			1		
	Manillar + guiar instalación			1			1			1
	Motor		1			1			1	
	Eje rueda trasera			1	1			1		
	Equipo de freno trasero			1	1			1		
	Rueda trasera			1	1			1		
	Eje rueda delantera	1					1			1
	Reenvío-Cable cuentakilómetros (dcha.)	1					1			1
	Rueda delantera	1					1			1
	Chasis trasero		1		1			1		
Pinza de freno delantero			1			1			1	
Equipo de freno trasero (conectar)	1			4			4			
Ins. eléctrica (guiar chasis)	1			2			2			
ESTACIÓN 2	Pedal de freno	2			1			1		
	Conectar carburador	2			2			2		
	Instalación del motor			2			2		2	
	Rejilla radiador izq.			2			3		3	
	Instalación eléctrica (manillar)		2		3			3		
	Guía cable de embrague	2					1			1
	Radiador	2			3					3
	Rejilla radiador dcha.	2			4			4		
	Depósito aceite	2			2			2		
	Depósito aceite (poner tornillo)	2			4			4		
	Manguito ais a caja de filtro	2					2			2
Cadena			2			3			3	
ESTACIÓN 3	Llenado Aceite	3			4			4		
	Anticongelante radiador	3			4			4		
	Guía latiguillo dcha.	3			3			3		
	Guardabarros delantero ( solo MA)	3			4					4
	Manguito válvula de escape (dcha.)	3			4			4		
	Colector			3			3			3
	Conectar cable de embrague			3	3			3		
	Cubre piñón			3			4			4
	Tubo escape			3			4			4
	Silencioso			3			4			4
	Guía latiguillo izq.			3			3		3	
Porta faro (solo MA)		3		3			3			
ESTACIÓN 4	Porta matrícula	4					2			2
	Guardabarro trasero			4			3			3
	Guardabarros-Porta matrícula (unir)		4				3			3
	Tapa trasera izq.			4			4			4
	Tapa delantera izq.			4			4			4
	Asiento			4			4			4
	Intermitente trasero izq.			4			4			4
	Brida depósito gasolina	4					4	4		
	Depósito gasolina	4					4			4
	Tapa trasera dcha.	4			4			4		
	Tapa delantera dcha.	4			4			4		
	Intermitente dcha. trasero	4			4			4		
	Carcasa Porta matrícula	4					4			4
Respiradero tapón gasolina	4					4			4	

Estos cambios deben ser estudiados por un especialista de la línea, para confirmar la admisibilidad de la solución obtenida.

## Equilibrado de líneas de montaje de una fábrica de Motocicletas

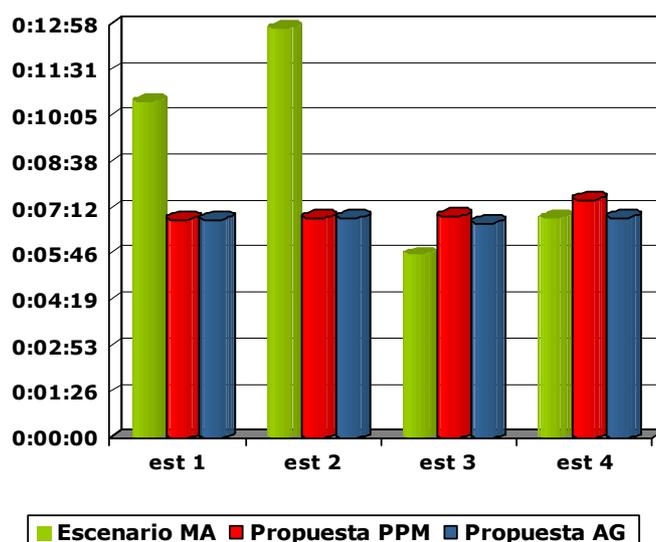
A continuación se comparan en la Tabla 26 los tiempos obtenidos en escenario MA, propuesta PPM y propuesta ABV:

**Tabla 26. Tiempos de cada estación. FURIA-XP6.**

	<b>Escenario MA</b>	<b>Propuesta PPM</b>	<b>Propuesta ABV</b>
<b>Estación 1</b>	0:10:32	0:06:51	0:06:51
<b>Estación 2</b>	0:12:49	0:06:54	0:06:54
<b>Estación 3</b>	0:05:45	0:06:56	0:06:45
<b>Estación 4</b>	0:06:54	0:07:29	0:06:55
<b>Tiempo de ciclo</b>	<b>0:12:49</b>	<b>0:07:29</b>	<b>0:06:55</b>

Se observa que el tiempo de ciclo con la propuesta PPM se ha reducido en 5 minutos y 20 segundos. Y con la propuesta ABV en 5 minutos y 54 segundos.

A continuación se representan los tiempos de cada estación, para cada caso estudiado: escenario MA, propuesta PPM y propuesta ABV, en la Figura 51:



**Figura 51. Tiempo de cada estación. FURIA-XP6.**

De la Figura 51 se observa que la suma de los tiempos de cada estación para cada caso a estudio no coincide, siendo mayor la suma para escenario MA. Esto es

Equilibrado de líneas de montaje de una fábrica de Motocicletas

consecuencia de los tiempos muertos que incrementan el tiempo de cada estación. De aquí se deduce que estos tiempos son una herramienta importante para el equilibrado de las líneas de montaje. Por ello, a continuación se representan los tiempos muertos de cada estación para cada caso en la Figura 52:

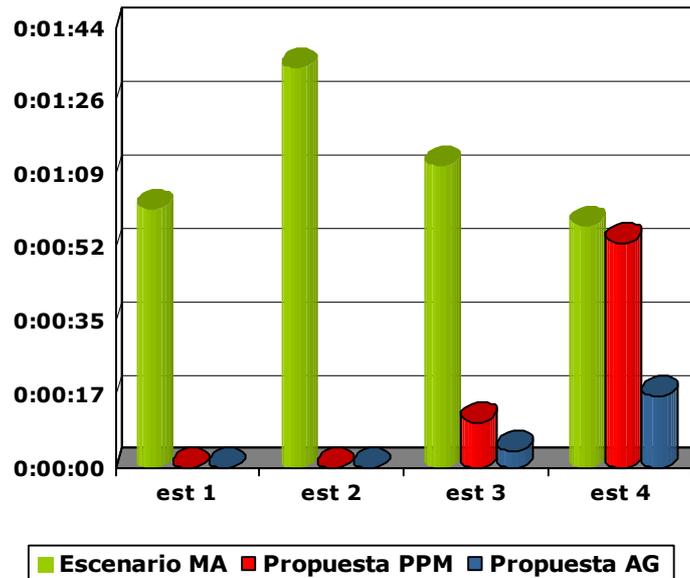


Figura 52. Tiempos muertos de cada estación. FURIA-XP6.

Con la Figura 52 queda justificada la no coincidencia de la suma de los tiempos de cada caso, ya que existen grandes diferencias entre los tiempos de espera. También se puede concluir que el método heurístico no sólo equilibra la carga entre las estaciones sino que disminuye el tiempo de espera.

Todo esto daría lugar a un aumento de la tasa de producción de la planta de MA. A continuación se muestra en la Tabla 27 tasa de producción de un día, ocho horas de trabajo con un descanso de veinte minutos, para escenario MA, propuesta PPM y propuesta ABV. El incremento obtenido con las dos propuestas.

Tabla 27. Tasa de producción. FURIA-XP6.

	Escenario MA	Propuesta PPM	$\Delta$ tasa PPM
		61	26
Tasa de producción (motos/ días)	35	Propuesta ABV	$\Delta$ tasa ABV
		66	31

## 5.2 Modelo RYZ-XPS

A continuación se presenta los resultados obtenidos con el modelo RYZ-XPS. Se sigue las mismas pautas que para el modelo FURIA-XP6. Se muestra la situación que presenta el escenario MA, los resultados obtenidos con: método Pesos Posicionales Modificados (PPM) y el algoritmo de búsqueda en vecindad (ABV). Por último, se realiza un análisis comparativo de las tres situaciones.

### 5.2.1 Escenario MA

A continuación se presenta en la Tabla 28, Tabla 29, Tabla 30 y Tabla 31 la secuencia de las operaciones, el operario y el tiempo de cada estación, para el modelo RYZ-XPS, que se realizan en la planta de producción de MA:

**Tabla 28. Escenario MA. Estación 1. RYZ-XPS.**

OPERACIONES	Operario			Operario		
	Dcha.	Ambos	Izq.	Dcha.	Ambos	Izq.
<b>ESTACIÓN 1</b>	Chasis delantero	x			0:00:14	
	Horquilla		x		0:00:19	
	Basculante + distanciador	x			0:00:32	
	Amortiguador	x			0:00:34	
	Manillar + guiar instalación			x		0:01:05
	Cable embrague (colocar)			x		0:00:52
	<b>Tiempo muerto</b>				<b>0:00:50</b>	
	Motor		x		0:01:45	
	Eje rueda trasera			x		0:00:06
	Rueda trasera			x		0:00:12
	Equipo de freno trasero			x		0:00:41
	Eje rueda delantera	x			0:00:07	
	Rueda delantera	x			0:00:27	
	Reenvío-Cable cuentakilómetros (dcha.)	x			0:00:32	
	<b>Tiempo muerto</b>					<b>0:00:08</b>
	Pinza de freno delantero			x		0:00:41
	<b>Tiempo muerto</b>				<b>0:00:41</b>	
	Chasis trasero		x		0:00:18	
	Cable embrague (conectar)			x		0:00:23
	Depósito liquido freno	x			0:00:18	
<b>Tiempo total de estación</b>				<b>0:03:44</b>	<b>0:02:37</b>	<b>0:04:07</b>
					<b>0:06:44</b>	

Equilibrado de líneas de montaje de una fábrica de Motocicletas

**Tabla 29. Escenario MA. Estación 2. RYZ-XPS.**

	OPERACIONES	Operario			Operario		
		Dcha.	Ambos	Izq.	Dcha.	Ambos	Izq.
<b>ESTACIÓN 2</b>	Soporte motor dch.	x			0:01:22		
	Instalación eléctrica (guiar por chasis trasero)	x			0:02:20		
	Soporte motor izq.			x			0:02:07
	Instalación motor			x			0:02:37
	Cadena			x			0:03:38
	Conectar carburador	x			0:00:52		
	<b>Tiempo muerto</b>				<b>0:00:10</b>		
	Colector (abrazadera)	x			0:00:57		
	Pedal de freno	x			0:00:37		
	Manguito ais a caja de filtro			x			0:00:30
Bobina de masa			x			0:00:21	
<b>Tiempo total de estación</b>					<b>0:06:18</b>	<b>0:00:00</b>	<b>0:09:13</b>
						<b>0:09:13</b>	

**Tabla 30. Escenario MA. Estación 3. RYZ-XPS.**

	OPERACIONES	Operario			Operario		
		Dcha.	Ambos	Izq.	Dcha.	Ambos	Izq.
<b>ESTACIÓN 3</b>	Soporte claxon	x			0:00:54		
	Radiador	x			0:00:20		
	<b>Tiempo muerto</b>						<b>0:00:54</b>
	Rejilla radiador (única)			x			0:00:41
	Manguitos radiador-vaso expansión			x			0:01:12
	Agua anticongelante radiador			x			0:00:47
	<b>Tiempo muerto</b>						0:00:12
	Porta matrícula	x			0:00:56		
	Depósito de aceite	x			0:00:40		
	Llenado de aceite	x			0:00:20		
	Protector de bomba	x			<b>0:00:36</b>		
	Instalación eléctrica (manillar)		x			0:02:21	
	Porta faro (solo MA)		x			0:01:55	
	Guía latiguillo dcha.	x			0:00:34		
	Cubre piñón			x			0:00:25
	Instalación motor (apretar tornillo )			x			0:01:16
	Tubo de escape			x			0:01:04
	Silencioso			x			0:00:46
	Conectar válvula de escape	x			0:00:10		
Carcasa porta matrícula			x			0:00:34	
<b>Tiempo total de estación</b>					<b>0:04:32</b>	<b>0:04:16</b>	<b>0:07:51</b>
						<b>0:12:07</b>	

Tabla 31. Escenario MA. Estación 4. RYZ-XPS.

OPERACIONES	Operario			Operario		
	Dcha.	Ambos	Izq.	Dcha.	Ambos	Izq.
ESTACIÓN 4	Llenar gasolina carburador	x		0:00:49		
	Depósito gasolina	x		0:01:05		
	Guardabarros trasero					0:01:02
	Guardabarros-Porta matrícula (unir)					0:00:37
	Tapa trasera dcha.	x		0:00:49		
	Tapa trasera izq.					0:01:05
	Tapa delantera dcha.	x		0:00:37		
	Tapa delantera izq.					0:00:45
	Guía latiguillo izq.					0:00:36
	Guardabarros delantero ( solo MA)					0:00:22
	Intermitente trasero dch.	x		0:00:40		
	Intermitente trasero izq.					0:00:49
	Instalación batería	x		0:00:32		
	Asiento					0:00:16
	Charnela del Pedal de freno	x		0:00:22		
	Respiradero tapón gasolina	x		0:00:11		
	<b>Tiempo total de estación</b>				<b>0:05:04</b>	<b>0:00:00</b>
					<b>0:05:32</b>	

Se puede observar que el tiempo de ciclo del escenario MA es de 12 minutos con 7 segundos, que se da en la tercera estación.

### 5.2.2 Propuesta Pesos Posicionales Modificado (PPM)

Se muestra la solución obtenida con el método de los Pesos Posicionales Modificado para el modelo RYZ-XPS en la Tabla 32, Tabla 33, Tabla 34 y Tabla 35.

Equilibrado de líneas de montaje de una fábrica de Motocicletas

**Tabla 32. Propuesta PPM. Estación 1. RYZ-XPS.**

	Nombre	Operario			Operario		
		Dcha.	Ambos	Izq.	Dcha.	Ambos	Izq.
<b>ESTACIÓN 1</b>	Chasis delantero		X			0:00:14	
	Horquilla		X			0:00:19	
	Basculante + distanciador	X			0:00:32		
	Amortiguador	X			0:00:34		
	Manillar + guiar instalación			X			0:01:05
	<b>Tiempo muerto</b>						<b>0:00:01</b>
	Motor		X			0:01:45	
	Soporte motor dch.	X			0:01:22		
	Eje rueda trasera	X			0:00:06		
	Equipo de freno trasero	X			0:00:41		
	Rueda trasera	X			0:00:12		
	Cable embrague (colocar)	X			0:00:52		
	Soporte motor izq.			X			0:02:07
	Eje rueda delantera			X			0:00:07
	Rueda delantera			X			0:00:27
	Reenvío-Cable cuentakilómetros (dcha.)			X			0:00:32
	Cable embrague (conectar)			X			0:00:23
Chasis trasero	X			0:00:18			
				0:04:37	0:02:18	0:04:42	
					<b>0:07:00</b>		

**Tabla 33. Propuesta PPM. Estación 2. RYZ-XPS.**

	Nombre	Operario			Operario		
		Dcha.	Ambos	Izq.	Dcha.	Ambos	Izq.
<b>ESTACIÓN 2</b>	Instalación eléctrica (guiar chasis trasero)	X			0:02:20		
	Instalación eléctrica (manillar)						
	<b>Instalación eléctrica (manillar)</b>	X			0:02:21		
	Colector (abrazadera)	X			0:00:57		
	Manguito ais a caja de filtro	X			0:00:30		
	Depósito líquido freno	X			0:00:18		
	Instalación del motor			X			0:02:37
	<b>Conectar carburador</b>			X			0:00:52
	Bobina de masa			X			0:00:21
	Porta matrícula			X			0:00:56
	Guardabarro trasero			X			0:01:02
	Guardabarros-porta matrícula (unir)			X			0:00:37
	Radiador	X			0:00:20		
				0:06:46	0:00:00	0:06:25	
					<b>0:06:46</b>		

Equilibrado de líneas de montaje de una fábrica de Motocicletas

**Tabla 34. Propuesta PPM. Estación 3. RYZ-XPS.**

	Nombre	Operario			Operario		
		Dcha.	Ambos	Izq.	Dcha.	Ambos	Izq.
<b>ESTACIÓN 3</b>	Cadena			X			0:03:38
	Pinza de freno delantero			X			0:00:41
	Intermitente trasero izq.			X			0:00:49
	Agua anticongelante radiador			X			0:00:47
	Carcasa porta matrícula			X			0:00:34
	Pedal de freno	X			0:00:37		
	Soporte claxon	X			0:00:54		
	Rejilla radiador (única)	X			0:00:41		
	Intermitente trasero dch.	X			0:00:40		
	Manguitos radiador- vaso expansión	X			0:01:12		
	Depósito aceite	X			0:00:40		
	Protector de bomba	X			0:00:36		
	Guía latiguillo dcha.	X			0:00:34		
	Llenado aceite	X			0:00:20		
	Charnela del pedal de freno	X			0:00:22		
					0:06:37	0:00:00	0:06:29
					<b>0:06:37</b>		

**Tabla 35. Propuesta AICIA. Estación 4. RYZ-XPS.**

	Nombre	Operario			Operario		
		Dcha.	Ambos	Izq.	Dcha.	Ambos	Izq.
<b>ESTACIÓN 4</b>	Guía latiguillo izq.			X			0:00:36
	Instalación motor (apretar tornillo )			X			0:01:16
	Tubo escape			X			0:01:04
	Silencioso			X			0:00:46
	Cubre piñón			X			0:00:25
	Tapa trasera izq.			X			0:01:05
	Tapa delantera izq.			X			0:00:45
	Respiradero tapón gasolina			X			0:00:11
	<b>Tiempo muerto</b>						<b>0:00:12</b>
	Asiento			X			0:00:16
	Porta faro (solo MA)	X			0:01:55		
	Guardabarros delantero ( solo MA)	X			0:00:22		
	Llenar gasolina carburador	X			0:00:49		
	Conectar válvula de escape	X			0:00:10		
	Depósito gasolina	X			0:01:05		
	Tapa trasera dcha.	X			0:00:49		
	Tapa delantera dcha.	X			0:00:37		
	Instalación batería	X			0:00:32		
				0:06:19	0:00:00	0:06:35	
					<b>0:06:35</b>		

En la solución obtenida el tiempo de ciclo es de 7 minutos. Se observa el cuello de botella corresponde a la estación primera.

En las tablas mostradas se pueden identificar, en negrita, el tiempo muerto de cada estación correspondiente a la espera de un operario para realizar una tarea con su compañero, tareas que realizan conjuntamente, o por la espera de la finalización de una operación de su compañero para el comienzo de su tarea.

Las operaciones que aparecen en negrita, instalación eléctrica (manillar) y conectar carburador, son operaciones que se han desglosado de instalación eléctrica (manillar). Este desglose se realiza para estandarizar las operaciones con las definidas en la planta de producción de MA.

### **5.2.3 Propuesta Algoritmo de búsqueda en vecindad (ABV)**

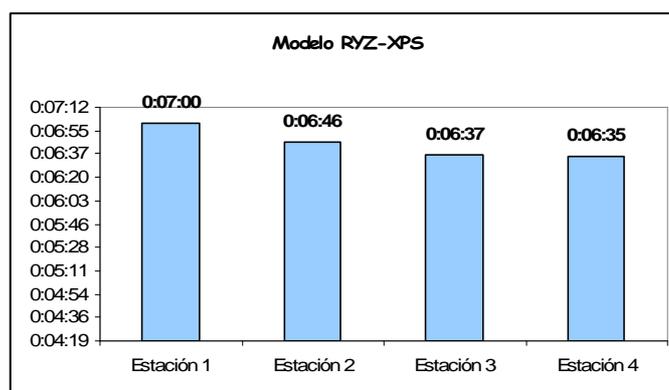
Para este modelo se ha realizado el mismo procedimiento, con la diferencia de que la hoja Excel de donde lee los predecesores cambia. Siendo la hoja Excel correspondiente del modelo RYZ-XPS.

Para el modelo RYZ-XPS el algoritmo nos proporciona como secuencia modificada la solución seleccionada, es decir, la propuesta PPM. Como ya se consideró en la descripción del algoritmo de búsqueda en vecindad (ABV) se puede encontrar una solución mejor, pero para este modelo no se consigue.

Si se analiza la propuesta PPM del modelo a estudio, se observa que las cuatro estaciones se encuentran bastante equilibradas, como se observa en la Figura 53. Y además que la estación cuello botella, la primera estación, es la estación que permite menos margen de movimiento, por tanto, resulta lógico lo obtenido por el ABV.

Por estos motivos ya mencionados no se muestra la secuencia obtenida con ABV, ya que es la misma que la propuesta PPM.

## Equilibrado de líneas de montaje de una fábrica de Motocicletas



**Figura 53. Equilibrado de la propuesta PPM.**

### 5.2.4 Análisis comparativo

A continuación, se presenta en la Tabla 36 y la Tabla 37 las operaciones, el operario y la estación en la que se realiza el montaje del modelo RYZ-XPS, en escenario MA y propuesta PPM:

**Tabla 36. Comparativa 1. RYZ-XPS.**

	Operaciones	Escenario MA			Propuesta PPM		
		Dcha.	Ambos	Izq.	Dcha.	Ambos	Izq.
<b>ESTACIÓN 1</b>	Chasis delantero		1		1		
	Horquilla		1		1		
	Basculante + distanciador	1			1		
	Amortiguador	1			1		
	Manillar + guiar instalación			1			1
	Cable embrague (colocar)			1	1		
	Motor		1			1	
	Eje rueda trasera			1	1		
	Rueda trasera			1	1		
	Equipo de freno trasero			1	1		
	Eje rueda delantera	1					1
	Rueda delantera	1					1
	Reenvío-Cable cuentakilómetros (dcha.)	1					1
	Pinza de freno delantero			1			3
	Chasis trasero		1		1		
	Cable embrague (conectar)			1			1
Depósito líquido freno	1			2			
<b>ESTACIÓN 2</b>	Soporte motor dch.	2			1		
	Instalación eléctrica (guiar chasis trasero)	2			2		
	Soporte motor izq.			2			1
	Instalación del motor			2			2
	Cadena			2			3
	Conectar carburador	2					2
	Colector (abrazadera)	2			2		
	Pedal de freno	2			3		
	Manguito ais a caja de filtro			2	2		
	Bobina de masa			2			2

Tabla 37. Comparativa 2. RYZ-XPS.

	Operaciones	Escenario MA			Propuesta PPM		
		Dcha.	Ambos	Izq.	Dcha.	Ambos	Izq.
ESTACIÓN 3	Soporte claxon	3			3		
	Radiador	3			2		
	Rejilla radiador (única)			3	3		
	Manguitos radiador-vaso expansión			3	3		
	Agua anticongelante radiador			3			3
	Porta matrícula	3					2
	Depósito aceite	3			3		
	Llenado aceite	3			3		
	Protector de bomba	3			3		
	Instalación eléctrica( manillar)		3		2		
	Porta faro (solo MA)		3		4		
	Guía latiguillo dcha.	3			3		
	Cubre piñón			3			4
	Instalación motor (apretar tornillo )			3			4
	Tubo escape			3			4
	Silencioso			3			4
	Conectar válvula de escape	3			4		
Carcasa porta matrícula			3			3	
ESTACIÓN 4	Llenar gasolina carburador	4			4		
	Depósito gasolina	4			4		
	Guardarbarro trasero			4			2
	Guardarbarros-porta matrícula (unir)			4			2
	Tapa trasera dcha.	4			4		
	Tapa trasera izq.			4			4
	Tapa delantera dcha.	4			4		
	Tapa delantera izq.			4			4
	Guía latiguillo izq.			4			4
	Guardarbarros delantero ( solo MA)			4	4		
	Intermitente trasero dch.	4			3		
	Intermitente trasero izq.			4			3
	Instalación batería	4			4		
	Asiento			4			4
	Charnela del pedal de freno	4			3		
Respiradero tapón gasolina	4					4	

Con el método de los Pesos Posicionales Modificado se consigue equilibrar la carga de operaciones en cada estación, por eso es de gran importancia comparar el orden de las operaciones para escenario MA y la propuesta PPM. En las tablas anteriores se puede observar el cambio de secuencia en de las operaciones, que debe ser revisado por los encargados de la planta de producción y que facilita la posterior implantación de los resultados obtenidos.

Una vez analizado el orden de las operaciones se estudian los tiempos obtenidos, que al fin y al a cabo es el objetivo del equilibrado. A continuación se muestra en la Tabla 38 los tiempos de cada estación para escenario MA y propuesta PPM:

Tabla 38. Tiempo de cada estación. RYZ-XPS.

	Escenario MA	Propuesta PPM
Estación 1	0:06:44	0:07:00
Estación 2	0:09:13	0:06:46
Estación 3	0:12:07	0:06:37
Estación 4	0:05:32	0:06:35
<b>Tiempo de ciclo</b>	<b>0:12:07</b>	<b>0:07:00</b>

Se puede observar que el tiempo de ciclo con la propuesta PPM se ha reducido en 5 minutos y 7 segundos.

A continuación se representan los tiempos de cada estación, para cada caso estudiado: escenario MA y propuesta PPM, en la Figura 54:

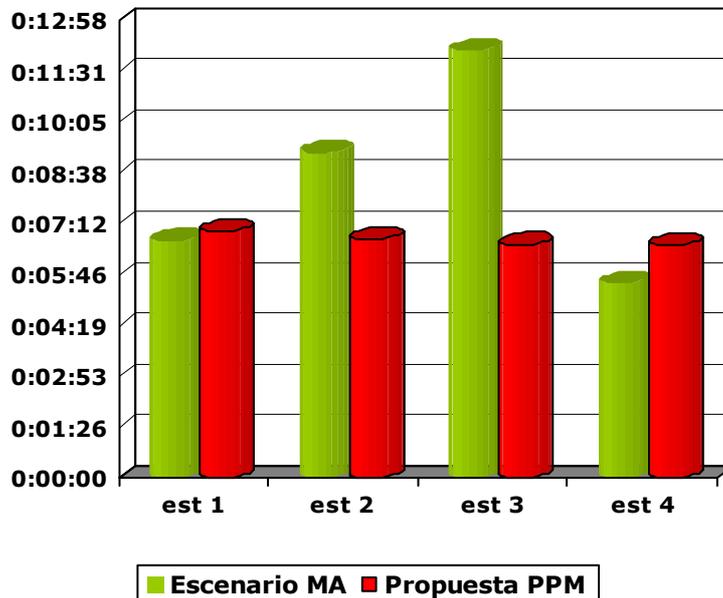


Figura 54. Tiempo de cada estación. RYZ-XPS.

Para este modelo de motocicleta se aprecia de forma más atenuante las consecuencias de los tiempos de espera. Debido a que sólo de manera leve en la

## Equilibrado de líneas de montaje de una fábrica de Motocicletas

primera estación y más señalada en la última se dan tiempos mayores en la propuesta PPM en el escenario MA.

A continuación se muestra en la Figura 55 los tiempos de espera, denominado tiempos muertos, para cada estación para justificar la diferencia entre la suma de tiempos de cada estación y cada caso:

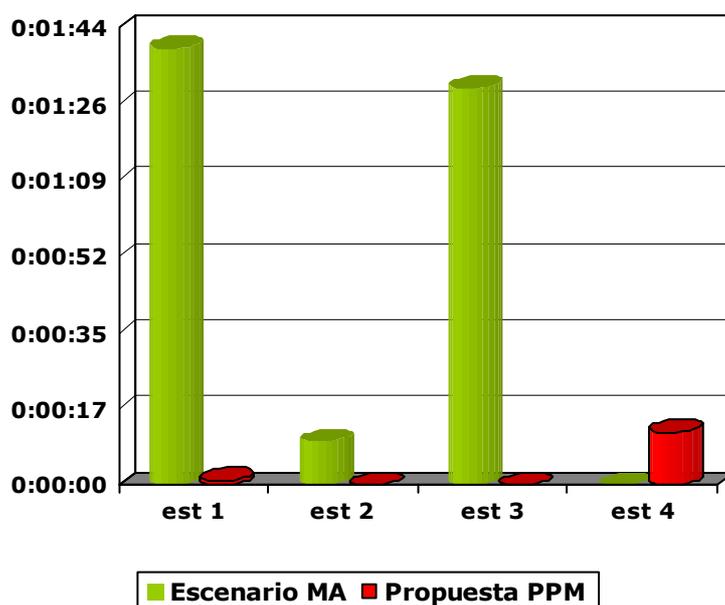


Figura 55. Tiempos muertos de cada estación. RYZ-XPS.

De nuevo se comprueba como el método heurístico no sólo equilibra la carga de cada estación sino que también disminuye el tiempo muerto en cada estación.

Con todo esto se consigue, como ya se ha mencionado, la disminución del tiempo de fabricación y el aumento de la tasa de producción, que se muestra a continuación en la Tabla 39:

Tabla 39. Tasa de producción. RYZ-XPS.

	Escenario MA	Propuesta PPM	$\Delta$ tasa PPM
Tasa de producción (motos/ días)	37	65	28

## Equilibrado de líneas de montaje de una fábrica de Motocicletas

Todos los resultados que se obtienen son resultados teóricos, que en la práctica serán próximos pero no los mismos. Debido entre otras cosas a que para el equilibrado de las líneas se han tomado tiempos medios de ejecución de cada operación pero en la práctica estos tiempos oscilarán sobre la desviación típica calculada y expuesta anteriormente.