

# Uso de históricos de mantenimiento para hallar el factor de forma beta ( $\beta$ ) y ubicarlo en la curva de la bañera

A. Aguirre Palacios, Yamel Oswaldo.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Especialista en Gerencia de Mantenimiento, Universidad Industrial de Santander, Ing. Mecánico., Universidad Nacional de Colombia. Email: asesoriamtto@gmail.com

## RESUMEN

Este artículo provee una propuesta para hacer uso de los históricos de mantenimiento de treinta maquinas a las que se aplicó el análisis de Pareto para dos variables: frecuencia de falla y costos de reparación correctivos, con las que se realizó una combinación de criterios y se seleccionaron diez maquinas que representan a los pocos vitales y se convierten en los equipos objeto de estudio; se concluyó que los valores validos del factor de forma Beta estaban asociados a los tiempos medios entre fallas correctivos y preventivos, una vez graficados en la curva de la bañera o de Davies se encontró que los equipos se ubican en la Fase I o de mortalidad infantil para lo cual se propone como plan de acción actividades de mantenimiento preventivo que discriminen la maquina en subsistemas asociando repuestos estándar.

## **RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.**

La información fue extractada de una de las líneas de producción del producto estrella de la Fábrica, este producto fue lanzado en el año 2014 y los equipos fueron seleccionados por el ingeniero de diseño y desarrollo a cargo del proyecto. La línea número tres está conformada por 30 equipos entre los que encontramos centros de mecanizado verticales, tornos de control numérico con alimentador, taladros revolver convencionales y fresadoras horizontales. El listado de los equipos por línea se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Equipos pertenecientes a la línea tres.

<b>MAQUINARIA</b>	<b>CODIGO</b>
fresadora convencional	26fu02
taladro revolver	32tx05
taladro convencional	26tc03
fresadora horizontal	32fh02
fresadora horizontal	36fh06
fresadora horizontal	64fh01
fresadora horizontal	26fh01
fresadora horizontal	20fh03
centro de mecanizado	28cm13
centro de mecanizado	20cm06
torno cnc	30tn14
centro de mecanizado	22cm12
centro de mecanizado	22cm14
centro de mecanizado	28cm16
centro de mecanizado	28cm07
centro de mecanizado	28cm01
centro de mecanizado	28cm12
centro de mecanizado	28cm03
centro de mecanizado	28cm02
taladro revolver	32tx02
taladro revolver	32tx04
centro de mecanizado	28cm11
centro de mecanizado	28cm08
torno automático	44ta10
torno automático	44ta07
torno automático	44ta01
torno jinfa	30tn10
torno beckler	30tn02
torno cnc con alimentador	30tn12
torno fresador cnc dossan	30tf01

## Históricos de Intervenciones.

Los históricos de intervenciones pueden ser consultados por BAAN ERP. BAAN ERP es el sistema de información que utiliza la Planta de Mantenimiento y es el actualmente posee la

compañía. Este se encuentra en uso desde el año 2005 y es alimentado por el analista de la planta con la información proveniente de las órdenes de servicio físicas tanto preventivas como correctivas. En la información suministrada por el software BAAN ERP se encuentran la totalidad de datos consignados en el sistema en cuanto a intervenciones realizadas a cada uno de los equipos, adicionalmente se puede obtener un archivo de extensión txt el cual es susceptible de ser trabajado en Excel, el cual contiene la siguiente información:

- Fecha en la que se realiza la consulta.
- Instalación (relaciona el código de mantenimiento del equipo) y Subsistema que fue intervenido.
- Fecha de la intervención.
- La orden de servicio generada.
- Fecha de comunicación: fecha en la que es recibida la orden de servicio.
- Fecha de inicio: fecha en la que inicia la intervención con hora.
- Técnico asignado: Apellido y nombre del técnico.
- Fecha final: Fecha en la que finaliza el trabajo.
- Código del Elemento: código interno de la empresa para un repuesto.
- Descripción: Descripción del elemento.
- Costo de Materia Prima: Costo de los repuestos involucrados en la reparación.
- Costo de Mano de Obra: Costo de la mano de obra asociada al técnico que realiza la reparación.
- Texto de Reparación; Texto que el Técnico asocia a la reparación en la orden de servicio.

En la Figura 1 encontramos una imagen típica de la información suministrada por el software. Con los equipos que conforman la línea de producción tres se extraen los históricos de intervenciones, se consulta la información necesaria de costos de materiales y mano de obra, se clasifica la información que concierne a las intervenciones correctivas y preventivas.

CODIGO	DESCRIPCION	UNID.	TAREA	CANTIDAD	COSTO
P200-0006	RODAMIENTO	und	0	2,00	8,572.00
P320-0177	RODAMIENTO 6304 2z	und	0	1,00	11,532.00
	HORAS MANO DE OBRA SERVICIOS	H	36200	14,50	275,500.00
COSTO TOTAL MATERIALES :					20,104.00
COSTO TOTAL MANO DE OBRA:					275,500.00
COSTO TOTAL OTROS COSTOS:					.00

TEXTO DE REPARACION  
REVISION Y AJUSTE DE TORRETA, AJUSTE DE VELOCIDADES.

**Fig. 1,** Información típica Software BAAN ERP. **Fuente.** Software BAAN ERP.

Dado que el sistema de información BAAN ERP fue implementado en el año 2005 algunos equipos no poseen rutinas de mantenimiento preventivo desde entonces, lo cual debe ser tenido en cuenta una vez se realice el análisis de la información.

Se estableció en la compañía que las ordenes de servicio que inician con el número 20 corresponden ordenes de servicio correctivas, como, por ejemplo, en la Figura 1 encontramos que el número de orden de servicio es **200017204**, por lo tanto corresponde a una orden correctiva. Las órdenes de servicio preventivas inician con el número **21**.

Se utilizaron únicamente costos de mantenimiento correctivo, dado que corresponden a las intervenciones no programadas; para los equipos que presenten mayor número de estas intervenciones deben ser analizadas y se debe definir si requieren de mayor atención en cuanto a programación de mantenimientos preventivos.

Con la información de costos de mantenimiento para cada uno de los 30 equipos que conforman la línea número tres se realizó un estudio más profundo utilizando Análisis de Pareto [1], utilizando las variables de Frecuencia de Falla y Costos de Reparación; a continuación, en la Tabla 2 se puede ver el resumen de intervenciones correctivas y sus costos asociados para los 30 equipos que conforman la línea de producción número tres.

**Tabla 2.** Intervenciones correctivas (I.C.) y sus costos de mantenimiento correctivo asociados.

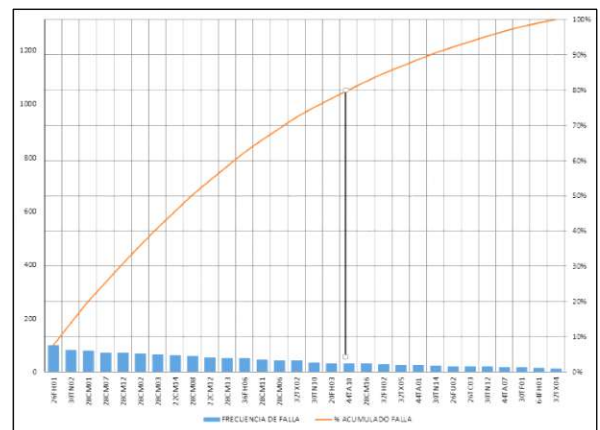
EQUIPO	I.C.	COSTOS
26FU02	22	\$ 3.564.120
32TX05	26	\$ 2.283.921
26TC03	20	\$ 2.392.712
32FH02	30	\$ 3.564.120
36FH06	52	\$ 7.220.045
64FH01	14	\$ 1.281.600
26FH01	99	\$ 33.553.667
20FH03	33	\$ 4.787.650
28CM13	53	\$ 11.401.521
28CM06	43	\$ 16.460.433
30TN14	25	\$ 3.961.250
22CM12	54	\$ 10.919.215
22CM14	62	\$ 10.965.560
28CM16	31	\$ 7.796.321
28CM07	71	\$ 28.957.050
28CM01	81	\$ 41.794.667
28CM12	71	\$ 13.949.086
28CM03	65	\$ 26.406.298
28CM02	68	\$ 10.469.449
32TX02	43	\$ 8.312.336
32TX04	12	\$ 1.798.922
28CM11	46	\$ 9.968.408
28CM08	61	\$ 18.636.568
44TA10	33	\$ 4.875.002
44TA07	19	\$ 2.923.379
44TA01	26	\$ 5.046.876
30TN10	36	\$ 14.017.817
30TN02	82	\$ 111.455.684
30TN12	20	\$ 4.109.125
30TF01	17	\$ 7.849.922

**Tabla 3.** Frecuencia de Falla en equipos de la línea tres.

EQUIPO	F.F.	%C.F.	%C.A.F.
26FH01	99	7,53%	7,53%
30TN02	82	6,24%	13,76%
28CM01	81	6,16%	19,92%
28CM07	71	5,40%	25,32%
28CM12	71	5,40%	30,72%
28CM02	68	5,17%	35,89%
28CM03	65	4,94%	40,84%
22CM14	62	4,71%	45,55%
28CM08	61	4,64%	50,19%
22CM12	54	4,11%	54,30%
28CM13	53	4,03%	58,33%
36FH06	52	3,95%	62,28%
28CM11	46	3,50%	65,78%
28CM06	43	3,27%	69,05%
32TX02	43	3,27%	72,32%
30TN10	36	2,74%	75,06%
20FH03	33	2,51%	77,57%
44TA10	33	2,51%	80,08%
28CM16	31	2,36%	82,43%
32FH02	30	2,28%	84,71%
32TX05	26	1,98%	86,69%
44TA01	26	1,98%	88,67%
30TN14	25	1,90%	90,57%
26FU02	22	1,67%	92,24%
26TC03	20	1,52%	93,76%
30TN12	20	1,52%	95,29%
44TA07	19	1,44%	96,73%
30TF01	17	1,29%	98,02%
64FH01	14	1,06%	99,09%
32TX04	12	0,91%	100,00%
	<b>1315</b>	<b>TOTAL</b>	

**Análisis de Pareto por frecuencia de falla.**

Para las 30 máquinas constitutivas de la línea de producción tres con la información de los históricos de mantenimiento correctivo, se elaboró la Tabla 3 en la que se consolidan los datos de frecuencia de falla, que es la primer variable del Análisis de Pareto [1] que se utilizará para seleccionar los equipos que deben ser objeto de estudio; las siguientes siglas se aplican a la Tabla 3 y corresponden a: F.F. Frecuencia de Falla, %C.F. Porcentaje de Contribución de la Falla, y %C.A. Porcentaje de Contribución Acumulada de la Falla.



**Fig. 2.** Análisis de Pareto por frecuencia de falla.

Se encontró que son 17 equipos los que se encuentran en la zona de los pocos vitales, que en realidad corresponden al 56 % de los equipos elegidos para la línea, lo cual se muestra en la Figura 2.

### Análisis de Pareto por costos de reparación.

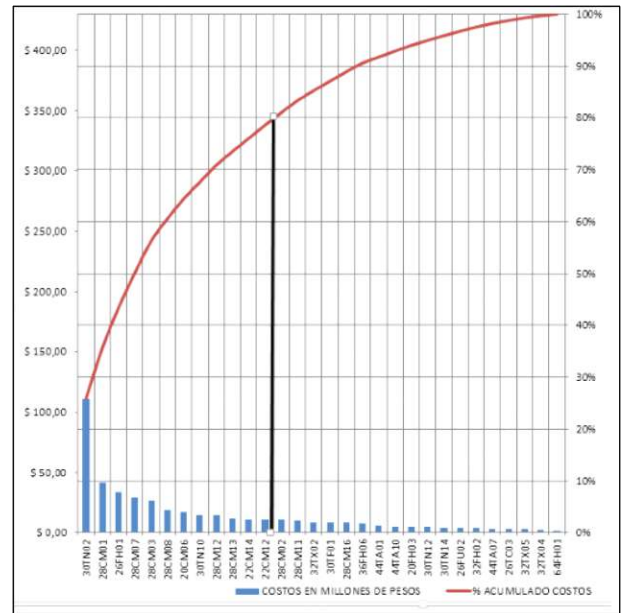
El siguiente paso es realizar el análisis de Pareto [1] por costos de reparación para lo cual se elaboró la Tabla 4 en la que se encuentran los costos de mantenimiento correctivo para cada uno de los equipos de la línea número tres en ella se puede observar claramente que cerca del 26% de los costos de reparación corresponden al torno numérico 30TN02.

**Tabla 4.** Costos de reparación en equipos de la línea tres.

EQUIPO	C.M.P	%.C.C.	%.C.A.C.
30TN02	\$ 111,46	25,87%	25,87%
28CM01	\$ 41,79	9,70%	35,57%
26FH01	\$ 33,55	7,79%	43,36%
28CM07	\$ 28,96	6,72%	50,08%
28CM03	\$ 26,41	6,13%	56,21%
28CM08	\$ 18,64	4,33%	60,54%
20CM06	\$ 16,46	3,82%	64,36%
30TN10	\$ 14,02	3,25%	67,61%
28CM12	\$ 13,95	3,24%	70,85%
28CM13	\$ 11,40	2,65%	73,50%
22CM14	\$ 10,97	2,55%	76,04%
22CM12	\$ 10,92	2,53%	78,58%
28CM02	\$ 10,47	2,43%	81,01%
28CM11	\$ 9,97	2,31%	83,32%
32TX02	\$ 8,31	1,93%	85,25%
30TF01	\$ 7,85	1,82%	87,07%
28CM16	\$ 7,80	1,81%	88,88%
36FH06	\$ 7,22	1,68%	90,56%
44TA01	\$ 5,05	1,17%	91,73%
44TA10	\$ 4,88	1,13%	92,86%
20FH03	\$ 4,79	1,11%	93,97%
30TN12	\$ 4,11	0,95%	94,92%
30TN14	\$ 3,96	0,92%	95,84%
26FU02	\$ 3,66	0,85%	96,69%
32FH02	\$ 3,56	0,83%	97,52%
44TA07	\$ 2,92	0,68%	98,20%
26TC03	\$ 2,39	0,56%	98,75%
32TX05	\$ 2,28	0,53%	99,28%
32TX04	\$ 1,80	0,42%	99,70%
64FH01	\$ 1,28	0,30%	100,00%
	<b>\$ 430,82</b>	<b>100,00%</b>	

Las siguientes siglas se aplican a la Tabla 4 y corresponden a: C.M.P. Costo en Millones de Pesos, %.C.C. Porcentaje de Contribución de Costos, y %.C.A.C Porcentaje de Contribución Acumulado de Costos.

Con esta información es posible graficar su comportamiento ya que se encuentra ordenada de mayor a menor costo de mantenimiento, así es presentado en la Figura 3.



**Fig. 3.** Análisis de Pareto por costos de reparación.

Adicionalmente se observa que en la zona de los pocos vitales hay 12 equipos lo que corresponde al 40 % del total de los equipos de la línea, por lo tanto, la selección de los equipos sujetos de estudio se complica dado que esperábamos tan solo tener alrededor de 6 equipos que idealmente hicieran parte de los pocos vitales.

### Combinación de criterios y selección de equipos.

Se realizó una comparación entre los equipos con alta frecuencia de falla y los equipos con altos costos de reparación, encontrando que 10 de los 11 equipos con altos costos de reparación

se encuentran también en los equipos con alta frecuencia de falla.

Pero pese a haberlos identificado aún son 15 equipos para realizar el estudio razón por la cual debemos recurrir a utilizar otro método para reducir esta cantidad, este se explicará en detalle luego de que se observe en detalle la Tabla 5.

**Tabla 5.** Calificación ponderada a equipos por falla y costo de reparación.

CALIFICACION PONDERADA			
PUNTOS FALLA	EQUIPO	PUNTOS COSTO	EQUIPO
15	26FH01	11	30TN02
14	30TN02	10	28CM01
13	28CM01	9	26FH01
12	28CM07	8	28CM07
11	28CM12	7	28CM03
10	28CM02	6	28CM08
9	28CM03	5	20CM06
8	22CM14	4	30TN10
7	28CM08	3	28CM12
6	22CM12	2	28CM13
5	28CM13	1	22CM14
4	36FH06		
3	28CM11		
2	20CM06		
1	32TX02		

De acuerdo al porcentaje de participación los equipos tuvieron un primer segundo o enésimo puesto dentro de las frecuencias de fallas o costos, por lo tanto, se le asignó a cada uno de ellos un puntaje, el primero (el más costoso en reparación, o el que más fallas registro) tuvo la mayor calificación, por ejemplo en fallas la Fresadora Horizontal 26FH01 ocupó el primer lugar entre 15 equipos razón por la cual se le adjudican 15 puntos, mientras que en Costos obtuvo el tercer lugar entre once razón por la cual se le asignaron 9 puntos, esta calificación ponderada se puede observar en la Tabla 5.

Con los valores anteriormente obtenidos se toma cada uno de los diez equipos y se suman los valores obtenidos en la calificación hecha por frecuencia de falla y por costo de acuerdo a lo obtenido en el diagrama de Pareto, esto nos dará la ponderación definitiva, adicionalmente se relacionan los modelos de los equipos para

identificar si se pueden hacer grupos de máquinas de acuerdo a esta característica.

Lo que se puede observar en la Tabla 6, es que fue organizada de mayor a menor por la columna “Total Puntos” que corresponde a la suma de los puntos obtenidos por falla más los puntos por costo, es que los centros de mecanizado marca Leadwell en sus modelos V-25 (tres equipos), V30 (dos equipos) y V40 (tres equipos) son los más comunes en el listado, así como que el torno numérico Beckler y la fresadora Fritz Werner son modelos únicos dentro del análisis. Estos diez equipos son los seleccionados para realizar el análisis.

**Tabla 6.** Equipos objeto de estudio de acuerdo a ponderación.

PONDERACION FALLAS + COSTO				MODELO MARCA
MAQUINA	PUNTOS POR FALLA	PUNTOS POR COSTO	TOTAL PUNTOS	
30TN02	14	11	25	ENC 163 BECHLER
26FH01	15	9	24	2241FRITZ WERNER
28CM01	13	10	23	V-40 LEADWELL
28CM07	12	8	20	V-25 LEADWELL
28CM03	9	7	16	V-25 LEADWELL
28CM12	11	3	14	V-40 LEADWELL
28CM08	7	6	13	V-40 LEADWELL
22CM14	8	1	9	V-30 LEADWELL
20CM06	2	5	7	V-25 LEADWELL
28CM13	5	2	7	V-30 LEADWELL

Los equipos evaluados como los más críticos de la línea por costos y por frecuencia de falla fueron evaluados en el mismo periodo de tiempo desde el 01 de Enero de 2005, fecha en la que se implementó el Software BAAN ERP en la Fábrica para la generación de órdenes de servicio preventivas y correctivas, el almacenamiento de información extraída de los textos de los técnicos de mantenimiento, el cargue de mano de obra y repuestos entre otras

actividades, hasta el 1 de Julio de 2014 fecha en la que se bajaron del sistema para su análisis en este documento; se revisó para cada uno de los equipos seleccionados el porcentaje de costos unitarios y luego se agruparon por modelos, indicando la fecha de compra del activo y los años de servicio.

Observando la Tabla 7 se encuentra que el equipo 30TN02 tiene el 25,87% de los costos totales de la línea, pero es un único equipo, al igual que la fresadora Fritz Werner que tiene el 7,79%; analizando por modelos se observó que si se realiza el estudio para los centros de mecanizado V-40 se estarían abarcando tres equipos que representan el 17,26% de los costos de mantenimiento de la línea, al igual que los centros de mecanizado modelos V-25 representando otros tres equipos que abarcan el 16,67% de los costos de mantenimiento línea y los modelo V-30 que con una participación del 5,19% abarcaría dos equipos, para un total de ocho equipos en los pocos vitales y el 39,12% de los costos de mantenimiento de la línea son los seleccionados para realizar el estudio de factor de forma Beta.

**Tabla 7.** Costos agrupados por modelos de equipos.

EQUIPO	MODELO MARCA	% COSTOS UNITARIO	COSTO MODELO
30TN02	ENC 163 BECHLER	25,87%	25,87%
28CM01	V-40 LEADWELL	9,70%	17,26%
28CM08	V-40 LEADWELL	4,33%	
28CM12	V-40 LEADWELL	3,24%	
28CM07	V-25 LEADWELL	6,72%	16,67%
28CM03	V-25 LEADWELL	6,13%	
20CM06	V-25 LEADWELL	3,82%	
26FH01	2241 FRITZ WERNER	7,79%	7,79%
28CM13	V-30 LEADWELL	2,65%	5,19%
22CM14	V-30 LEADWELL	2,55%	

### Aplicación de enfoque de factor de forma Beta para los equipos seleccionados.

El análisis del factor de forma Beta se puede utilizar en este proyecto dado que se cuenta con una gran cantidad de información de los mantenimientos para cada uno de los equipos, las Intervenciones se clasifican entre correctivas y preventivas, los tiempos asociadas a ellas, se pueden estimar de los históricos de intervenciones.

No se puede extraer información de demoras administrativas y logísticas dado que los tiempos de reparación se toman desde que el técnico inicia con la intervención del equipo hasta que es entregado a producción y es cerrada la orden de servicio por quien fue generada.

Se realiza este análisis para obtener el factor de forma Beta de cada uno de los equipos y de esta forma determinar en qué fase de la curva de la bañera se encuentra el equipo como puede ser el de mortalidad infantil, de madurez o de vida útil, de acciones planeadas, de transición entre preventivo a predictivo o en la fase de envejecimiento puro.

### Tratamiento de la información.

De los históricos de intervenciones sin análisis que son unos documentos extraídos de BAAN ERP en el formato txt donde se puede visualizar la información, pero no se puede realizar ninguna transformación de ella, su visualización se puede hacer por medio de la Figura 1.

Los históricos de intervenciones entregan valores desordenados cronológicamente y con exceso de información que para este análisis no es requerida, por lo que se debe únicamente conservar tres datos importantes, el número de la orden de servicio, la fecha de inicio y la fecha final los cuales fueron guardados en un archivo para cada equipo como se muestra en la Figura 4.

ORDEN No	210014617		
FECHA INICIO	15/10/2009 13:00	FECHA FINAL	15/10/2009 16:30
ORDEN No	210013818		
FECHA INICIO	13/07/2009 13:00	FECHA FINAL	13/07/2009 16:30
ORDEN No	210013006		
FECHA INICIO	24/06/2009 13:00	FECHA FINAL	24/06/2009 14:50
ORDEN No	210013006		
FECHA INICIO	24/06/2009 13:00	FECHA FINAL	24/06/2009 14:50
ORDEN No	210013005		
FECHA INICIO	19/06/2009 07:00	FECHA FINAL	19/06/2009 10:00
ORDEN No	210010960		
FECHA INICIO	21/12/2008 20:00	FECHA FINAL	21/12/2008 21:00

**Fig. 4,** Archivo resumen de datos requeridos para estudio.

Lo que requiere es que a cada orden de servicio se le vincule en una tabla de Excel la fecha de inicio y fin de la intervención en la misma fila, esto se hace en otra hoja y en una columna colocando solo los números de la orden de servicio y usando las funciones ÍNDICE y COINCIDIR, las cuales utilizando como criterio de búsqueda la orden de servicio traen de vuelta a la tabla las fechas en una misma fila. Ahora se pueden ordenar cronológicamente las órdenes de servicio y de esta manera conceptualizar el diagrama de estado de equipo y se pueden determinar los tiempos de falla y funcionamiento del equipo en estudio. Los valores de tiempos de falla se pueden obtener restando la fecha final de mantenimiento menos la inicial, y los tiempos de funcionamiento restando la fecha final de la primera falla menos la fecha inicial de la segunda. Una vez organizadas se encontraron valores negativos como se puede observar en la Figura 5, orden de servicio 200005457 (resaltada), que fue ejecutada entre el 21/06/2007 entre las 08:15 AM y las 11:30 AM, se concluye que este dato se debe eliminar dado que este periodo de tiempo está comprendido en la orden de servicio 200004946 que se ejecutó entre 20/06/2007 iniciando a las 7:30 AM y el 21/06/2007 a las 15:00 horas.

ORDENES	FECHA INICIO MTTO	FECHA FINAL MTTO	UP TIMES (HORAS)	DOWN TIMES (HORAS)
		01/01/2005 00:00		
200000258	22/02/2005 00:00	01/03/2005 00:00	1248,00	168,00
200000420	18/03/2005 00:00	18/03/2005 16:30	408,00	16,50
200000723	05/06/2005 07:00	05/06/2005 16:30	1886,50	9,50
200000984	09/06/2005 14:00	10/06/2005 16:30	93,50	26,50
200002154	21/01/2006 07:00	30/01/2006 16:30	5390,50	225,50
200004083	14/12/2006 08:00	14/12/2006 16:50	7623,50	8,83
200004946	20/06/2007 07:30	21/06/2007 15:00	4502,67	31,50
200005457	21/06/2007 08:15	21/06/2007 11:30	-6,75	3,25
200005474	09/07/2007 07:00	09/07/2007 09:00	427,50	2,00
200005899	23/08/2007 13:30	23/08/2007 22:00	1084,50	8,50
200005926	30/08/2007 07:00	01/09/2007 16:30	153,00	57,50

**Fig. 5,** Análisis de tiempos de funcionamiento (UT) y falla (DT).

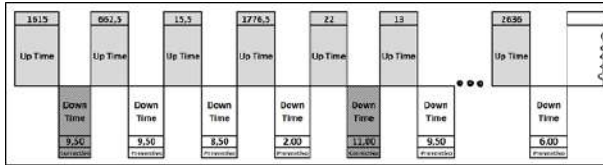
Es lógico dado que dos órdenes de servicio se pueden realizar al mismo tiempo porque se pueden realizar simultáneamente trabajos mecánicos y eléctricos, los cuales son desarrollados por técnicos diferentes, utilizando recursos diferentes, pero la parada del equipo es una sola y se debe tomar el mayor tiempo en el que el equipo no opere.

El análisis de órdenes de servicio correctivas y preventivas no se puede realizar por separado dado que, desde el 1 de enero de 2005 hasta el 06 de junio de 2014, fecha en la que se registra la última intervención de este equipo tenemos en total 3351 días transcurridos, si separamos las tablas incurriríamos en el error de generar dos líneas del tiempo para los análisis y por ende el doble de tiempo.

NUMERO DE ORDEN	FECHA INICIO MTTO	FECHA FINAL MTTO	UP TIMES (HORAS)	DOWN TIMES (HORAS)
		01/01/2005 00:00		
200000336	09/03/2005 07:00	09/03/2005 16:30	1615,00	9,50
210000206	06/04/2005 07:00	06/04/2005 16:30	662,50	9,50
210000207	07/04/2005 08:00	07/04/2005 16:30	15,50	8,50
210000695	20/06/2005 07:00	20/06/2005 09:00	1766,50	2,00
200001055	21/06/2005 07:00	21/06/2005 18:00	22,00	11,00
210000694	22/06/2005 07:00	22/06/2005 16:30	13,00	9,50
200001494	25/08/2005 14:00	26/08/2005 16:30	1533,50	26,50
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
210024217	29/07/2013 14:00	30/07/2013 13:50	69,17	23,83
210025045	12/11/2013 11:50	12/11/2013 13:50	2518,00	2,00
200021885	20/12/2013 07:00	20/12/2013 15:30	905,17	8,50
200022026	28/01/2014 07:00	28/01/2014 11:30	927,50	4,50
200022156	06/02/2014 07:00	06/02/2014 11:00	211,50	4,00
210025856	27/05/2014 07:00	27/05/2014 13:00	2636,00	6,00

**Fig. 6,** Tiempos de funcionamiento (UT) y falla (DT) del 22CM14.

En la Figura 6 se puede observar para el equipo 22CM14 la línea del tiempo donde coexisten ordenes correctivas (inician con el número 20) y las ordenes preventivas (inician con el número 21) y en la Figura 7 se puede ver reflejado una parte de el diagrama de estado general para el centro de mecanizado 22CM14.



**Fig. 7,** Diagrama de estado general de tiempos de funcionamiento (UT) y falla (DT) del 22CM14.

**Diagrama de estado correctivo.**

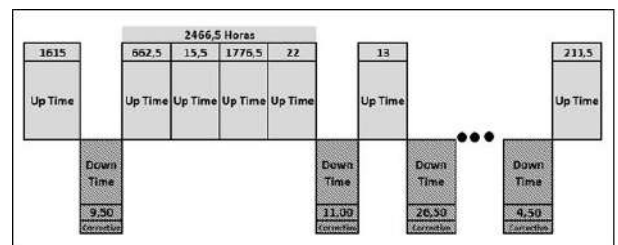
El paso siguiente es separar las líneas de tiempo de la tabla anterior, esto se hace por ejemplo para órdenes correctivas solo teniendo en cuenta el valor del tiempo de mantenimiento correctivo, es decir, para el equipo 22CM14 que se encuentra en la Tabla 8 y en la Figura 8.

**Tabla 8.** Tiempos del diagrama de estado correctivo del 22CM14 en horas.

ORDENES	UP TIMES	DOWN TIMES
200000336	1615,00	9,50
210000206	662,50	9,50
210000207	15,50	8,50
210000695	1766,50	2,00
200001055	22,00	11,00
210000694	13,00	9,50
200001494	1533,50	26,50
200022026	927,50	4,50
.	.	.
.	.	.
.	.	.
200022156	211,50	4,00
210025856	2636,00	6,00
20.....	ORDENES CORRECTIVAS	
21.....	ORDENES PREVENTIVAS	

Iniciamos con un tiempo de funcionamiento (UT, Up Time) de 1615 horas, luego de las cuales aparece la primer falla (DT, Down Time) y con ella el primer mantenimiento correctivo que tuvo una duración de 9,5 horas, entonces

encontramos tres órdenes preventivas las cuales corresponden a 9,5 , 8,5 y 2,0 horas de intervención las cuales no vamos a tener en cuenta, pero si la suma de los tiempos asociados de funcionamiento que son 662,5 , 15,5 y 1766,5 horas las cuales sumadas corresponden a 2444,5 horas; ahora aparece otra orden correctiva de 11 horas, pero antes de dicha intervención el equipo había funcionado 22 horas, por lo que se las debemos sumar al acumulado anterior de 2444,5 horas para un total de 2466,5 horas, esto se puede ver en el diagrama de estado para el 22CM14 que se presenta en la Figura 8.



**Fig. 8,** Diagrama de estado correctivo de tiempos de funcionamiento (UT) y de falla (DT) del 22CM14.

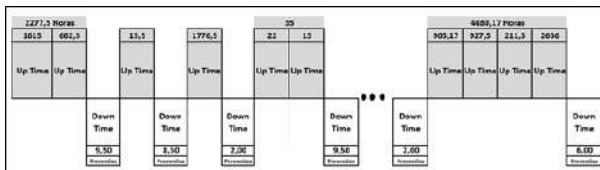
**Diagrama de estado preventivo.**

De manera similar que el diagrama correctivo se construye el diagrama de estado preventivo, pero en este caso solo se tendrán en cuenta los valores del tiempo de mantenimiento preventivo, por lo tanto, para el equipo 22CM14 que se ha tomado como referencia se puede observar en la Tabla 9 que iniciamos con un tiempo de 1615 horas y luego se encuentra una intervención correctiva de 9,5 horas la cual no vamos a tener en cuenta por lo que al valor de funcionamiento del equipo también se le debe sumar los 662,5 horas para un total de 2277,5 horas, luego tenemos 15.5 horas de funcionamiento con una intervención preventiva de 8,5 horas, después 1776,5 horas de funcionamiento con mantenimiento preventivo de 9,5 horas, el comportamiento se puede observar en el diagrama de estado para el 22CM14 que se presenta en la Figura 9.



**Tabla 9.** Tiempos del diagrama de estado preventivo del 22CM14 en horas.

ORDENES	UP TIMES	DOWN TIMES
200000336	1615,00	9,50
210000206	662,50	9,50
210000207	15,50	8,50
210000695	1766,50	2,00
200001055	22,00	11,00
210000694	13,00	9,50
	.	.
	.	.
	.	.
210025045	2518,00	2,00
200021885	905,17	8,50
200022026	927,50	4,50
200022156	211,50	4,00
210025856	2636,00	6,00
20.....	ORDENES CORRECTIVAS	
21.....	ORDENES PREVENTIVAS	



**Fig. 9,** Diagrama de estado preventivo de tiempos de funcionamiento (UT) e intervención (DT) del 22CM14.

**ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS CON BENARD Y ALINEACIÓN PARA EQUIPOS OBJETO DE ESTUDIO.**

Para encontrar los valores de Beta, MTBF y MTTR se debe elaborar una hoja en Excel donde en la columna cero ubicamos el número de las ordenes correctivas, luego en la columna uno el número del dato y en la columna dos ubicamos los inicialmente los datos de funcionamiento correspondiente a los datos correctivos, estos son los datos de entrada. En la columna tres se indica con un número uno si los datos no son censurados, para ninguno de los diez equipos se censuró algún dato, por lo que esta casilla estará llena con números unos.

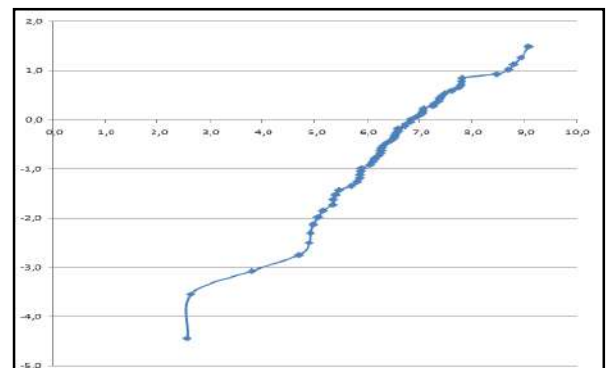
En la columna cuatro los datos de horas de operación se organizan de forma ascendente y

en la columna cinco se utiliza el rango de medianas de Benard donde j representa el número de dato (1, 2,3.....59) y N es igual al número total de datos, en este caso 59, se formulan las celdas para obtener automáticamente los valores que se muestran en la Tabla 10, estos valores corresponden a la función de no confiabilidad (F (t<sub>j</sub>)) [2].

**Tabla 10.** MTBF y Beta correctivo usando Benard y Alineación 22CM14.

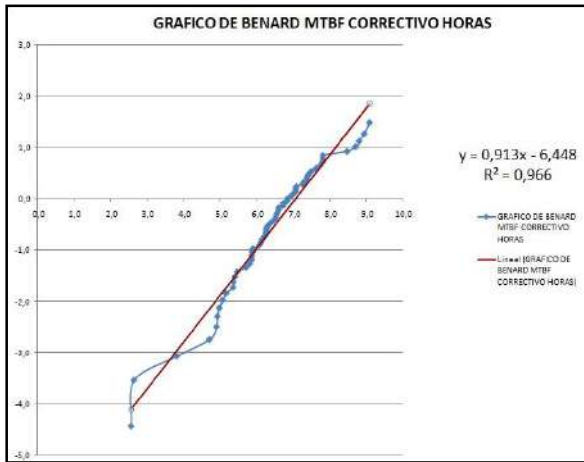
Estimación de parametros con aproximación de Rango de Medianas Benard					Alineación con regresión Mínimos				
0	1	2	3	4	5	6	7	8	
22CM14 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = (j-0,3)/(N+0,4)	1/(1-RM)	Ln(Ln(1/(1-RM))) es la Y de la Regresión	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresión	
200017748	51	6661,17	1	2306,50	0,8535	6,8276	0,6528	7,7435	
200017869	52	689,00	1	2435,67	0,8704	7,7143	0,7145	7,7980	
200018215	53	1683,50	1	2466,50	0,8872	8,8657	0,7803	7,8106	
200018340	54	1191,00	1	2480,00	0,9040	10,4211	0,8518	7,8160	
200019921	55	8870,50	1	4806,08	0,9209	12,6383	0,9309	8,4776	
200020087	56	363,33	1	6053,00	0,9377	16,0541	1,0210	8,7083	
200021885	57	7658,00	1	6661,17	0,9545	22,0000	1,1285	8,8040	
200022026	58	927,50	1	7658,00	0,9714	34,9412	1,2680	8,9435	
200022156	59	211,50	1	8870,50	0,9882	84,8571	1,4909	9,0905	
Ecuacion					y = 0,913x - 6,448				
Coeficiente de Determinación					R <sup>2</sup> = 0,966				
θ = Beta = pendiente de la recta					0,913				
Intercepto					-6,448				
η = Eta = e ^ -(intercepto/pendiente)					1167,2800				
MTBF correctivo=η * e^(GAMMA.LN(1+(1/θ)))					1218,7612				

En la columna siete se utiliza la ecuación de transformación de Weibull para el valor de Y en la regresión, y por último en la columna ocho se utiliza la ecuación de transformación de Weibull para el valor de X en la regresión. Estos valores se grafican en Excel utilizando dispersión con líneas suavizadas y marcadores obteniendo una gráfica como la mostrada en la Figura 10.



**Fig. 10,** Dispersión con datos Up Time correctivos para 22CM14.

Haciendo clic derecho sobre los datos graficados, en el menú desplegable de Excel encontramos la opción agregar línea de tendencia con la cual podemos obtener la ecuación dicha línea y el coeficiente de determinación muestral  $r^2$ , que debe estar entre un rango de 0,9025 y 1,0000 para considerarse aceptable, en este caso se obtuvo un  $r^2$  de 0,966 como se puede observar en la Figura 11.



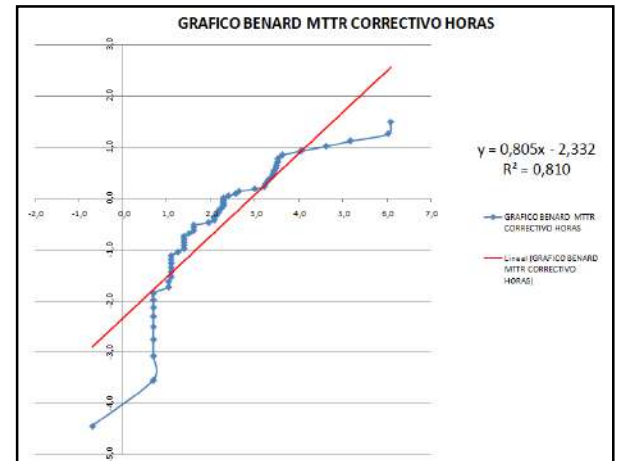
**Fig. 11,** Línea de tendencia y  $r^2$  con Up Times correctivos para 22CM14.

Con estos datos volvemos a la Tabla 10 en la que se digitan, la ecuación, el coeficiente de determinación muestral  $r^2$ , y se extraen la pendiente de la recta y el intercepto con el eje Y para poder calcular los valores de Eta ( $\eta$ ) y finalmente determinar el valor de MTBF correctivo para el centro de mecanizado 22CM14 utilizando las ecuaciones allí descritas.

Utilizando el mismo procedimiento se calcula el MTTR correctivo y su correspondiente Beta, en la Tabla 11 y su grafica correspondiente en la Figura 12, el MTBF preventivo con su Beta en la Tabla 12 y su grafica en la Figura 13 y el MTTR preventivo su respectivo Beta en la Tabla 13 y Figura 14.

**Tabla 11.** MTTR y Beta correctivo usando Benard y Alineación para 22CM14.

Estimación de parametros con aproximación de Rango de Medianas Benard				Alineación con regresion Mínimos				
0	1	2	3	4	5	6	7	8
22CM14 ORDENES CORRECTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparación en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparación en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
200017748	51	7,00	1	32,83	0,8535	6,8276	0,6528	3,4914
200017869	52	3,00	1	33,83	0,8704	7,7143	0,7145	3,5214
200018215	53	14,00	1	34,00	0,8872	8,8657	0,7803	3,5264
200018340	54	2,00	1	37,50	0,9040	10,4211	0,8518	3,6243
200019921	55	101,83	1	57,50	0,9209	12,6383	0,9309	4,0518
200020087	56	8,00	1	101,83	0,9377	16,0541	1,0210	4,6233
200021885	57	8,50	1	176,50	0,9545	22,0000	1,1285	5,1233
200022026	58	4,50	1	417,50	0,9714	34,9412	1,2680	6,0343
200022156	59	4,00	1	441,83	0,9882	84,8571	1,4909	6,0909
Ecuacion				$y = 0,805x - 2,332$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,810$				
$\theta$ = Beta = pendiente de la recta				0,805				
Intercepto				-2,332				
$\eta$ = Eta = $e^{\Lambda}$ - (Intercepto/pendiente)				18,1178				
MTTRcorrectivo= $\eta * e^{(\text{GAMMA.LN}(1+(1/\theta)))}$				20,4368				



**Fig. 12,** Línea de tendencia y  $r^2$  con Down Times correctivos para 22CM14.

**Tabla 12.** MTBF y Beta preventivo usando Benard y Alineación para 22CM14.

Estimación de parametros con aproximación de Rango de Medianas Benard				Alineación con regresion Mínimos				
0	1	2	3	4	5	6	7	8
22CM14 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	UP TIMES (HORAS)	CENSURADO	Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Horas de Operación sin fallos, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210021719	64	375,00	1	2518,00	0,8798	8,3218	0,7509	7,8312
210023041	65	634,67	1	2569,92	0,8936	9,4026	0,8069	7,8516
210023042	66	38,17	1	2676,50	0,9075	10,8060	0,8671	7,8923
210023818	67	1959,00	1	3062,00	0,9213	12,7018	0,9328	8,0268
210024217	68	2415,83	1	3223,50	0,9351	15,4043	1,0060	8,0782
210024225	69	29,83	1	3546,48	0,9489	19,5676	1,0899	8,1737
210024427	70	69,17	1	4087,00	0,9627	26,8148	1,1906	8,3156
210025045	71	2518,00	1	4121,50	0,9765	42,5882	1,3222	8,3240
210025856	72	4680,17	1	4680,17	0,9903	103,4286	1,5345	8,4511
Ecuacion				$y = 0,671x - 4,606$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,974$				
$\theta$ = Beta = pendiente de la recta				0,671				
Intercepto				-4,606				
$\eta$ = Eta = $e^{\Lambda}$ - (Intercepto/pendiente)				957,5534				
MTBF Preventivo= $\eta * e^{(\text{GAMMA.LN}(1+(1/\theta)))}$				1264,3026				

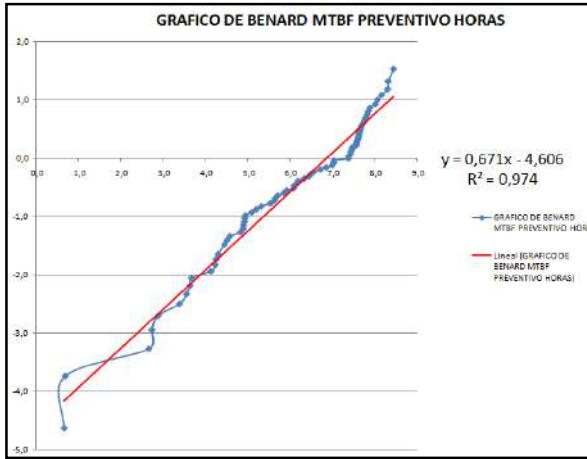


Fig. 13, Línea de tendencia y  $r^2$  con Up Times preventivos para 22CM14.

Tabla 13. MTTR y Beta preventivo usando Benard y Alineación para 22CM14.

Estimación de parametros con aproximacion de Rango de Medianas Benard					Alineacion con regresion Minimos			
0	1	2	3	4	5	6	7	8
22CM14 ORDENES PREVENTIVAS	# DE DATO	DOWN TIMES (HORAS)	CENSURADO	Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente	Rango de Mediana Benard denominada RM = $(j-0,3)/(N+0,4)$	$1/(1-RM)$	$\ln(\ln(1/(1-RM)))$ es la Y de la Regresion	Ln de Datos de reparaciones en horas, organizados en forma ascendente es la X de la Regresion
210021719	64	2,00	1	20,00	0,8798	8,3218	0,7509	2,9957
210023041	65	1,00	1	23,83	0,8936	9,4026	0,8069	3,1711
210023042	66	9,83	1	29,00	0,9075	10,8060	0,8671	3,3673
210023818	67	9,00	1	29,50	0,9213	12,7018	0,9328	3,3844
210024217	68	23,83	1	31,00	0,9351	15,4043	1,0060	3,4340
210024225	69	2,00	1	31,50	0,9489	19,5676	1,0899	3,4500
210024427	70	1,17	1	33,83	0,9627	26,8148	1,1906	3,5214
210025045	71	2,00	1	51,00	0,9765	42,5882	1,3222	3,9318
210025856	72	6,00	1	129,83	0,9903	103,4286	1,5345	4,8663
Ecuacion				$y = 1,110x - 2,511$				
Coeficiente de Determinacion				$R^2 = 0,910$				
$\theta = \text{Beta} = \text{pendiente de la recta}$				1,11				
Intercepto				-2,511				
$\eta = \text{Eta} = e^{\wedge} - (\text{intercepto}/\text{pendiente})$				9,6038				
MTTR Preventivo = $\eta^{\wedge} e^{\wedge} (\text{GAMMA.LN}(1+(1/\theta)))$				9,2396				

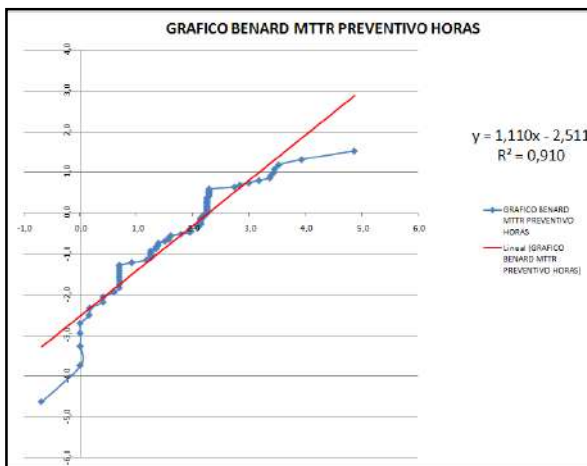


Fig. 14, Línea de tendencia y  $r^2$  con Down Times preventivos para 22CM14.

Tabla 14. Betas, MTBF y MTTR correctivos y preventivos de 22CM14.

MTBF CORRECTIVO HORAS	Beta	$r^2$	MTTR CORRECTIVO HORAS	Beta	$r^2$	MTBF PREVENTIVO HORAS	Beta	$r^2$	MTTR PREVENTIVO HORAS	Beta	$r^2$
1216,76	0,913	0,966	20,43	0,806	0,810	1264,30	0,671	0,974	9,23	1,110	0,910

Con los resultados de Beta, se ubica al centro de mecanizado 22CM14 en la curva de la bañera o de Davies, entonces se puede determinar en qué fase se encuentra; en la Tabla 14 se observan los valores de Beta, MTBF y MTTR correctivo y preventivo obtenidos; el valor de MTTR correctivo y su Beta asociado no se tienen en cuenta dado que están fuera de rango 0,9025 y 1,0000 de  $r^2$ . En la Figura 15 se puede observar que el equipo se encuentra entre dos fases, la de mortalidad infantil y está ingresando a la fase de madurez o vida útil.

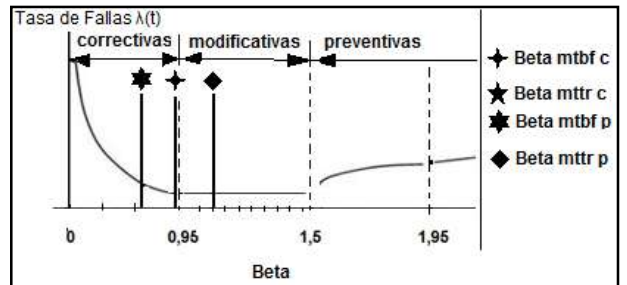


Fig. 15, Ubicación de Betas de 22CM14 en la curva de la bañera.

De manera similar, se calcularon los factores de forma Beta  $\beta$  para los tiempos medios entre falla (MTBF) correctivos y preventivos, al igual que los tiempos medios de reparación (MTTR) correctivos y preventivos para cada uno de los equipos objeto de estudio obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 15 para cada uno de los equipos analizados:

**Tabla 15.** Betas, MTBF y MTTR correctivos para todos los equipos objeto de estudio.

	MODELO	EQUIPO	MTBF CORRECTIVO HORAS	Beta	r <sup>2</sup>	MTTR CORRECTIVO HORAS	Beta	r <sup>2</sup>
1	ENC 163	30TN12	947,24	0,998	0,961	28,1	0,755	0,854
2	2241	26FH01	888,85	0,863	0,983	33,34	0,672	0,715
3		28CM01	1051,02	1,074	0,972	20,21	0,795	0,753
4	V40	28CM08	1391,65	0,891	0,989	24,60	0,765	0,834
5		28CM12	1699,56	0,828	0,975	8,131	1,226	0,739
6		28CM07	1288,88	0,938	0,987	24,98	0,674	0,603
7	V25	28CM03	1344,93	0,970	0,970	28,94	0,625	0,638
8		28CM06	1858,9	0,893	0,975	15,49	0,918	0,723
9	V30	28CM13	1517,5	0,733	0,967	15,71	0,834	0,806
10		22CM14	1218,76	0,913	0,966	20,43	0,805	0,810

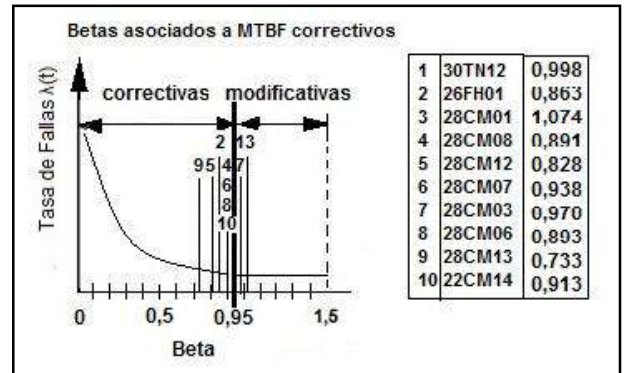
Se debe recordar que el coeficiente de determinación muestral r<sup>2</sup>, debe estar entre un rango de 0,9025 y 1,0000 para considerarse aceptable, por lo que los Betas (β) obtenidos de los tiempos medios de reparación (MTTR) no son aceptables, y por lo tanto no pueden ser graficados en la curva de la bañera y se encuentran resaltados en color gris en la Tabla 15.

Adicionalmente, se han obtenido los valores de Beta (β) para los tiempos medios entre fallas y los tiempos medios de reparación preventivos obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 16 en la cual se puede observar que solo un valor de Beta (β) no puede ser ubicado en la gráfica de la bañera es el asociado al tiempo medio entre fallas (MTBF) preventivo el cual tiene un coeficiente de determinación muestral r<sup>2</sup> de apenas 0,848. Adicionalmente se pueden rescatar dos Betas (β) asociados al tiempo medio de reparación (MTTR) preventivo los cuales corresponden a los equipos 28CM01 y 22CM14.

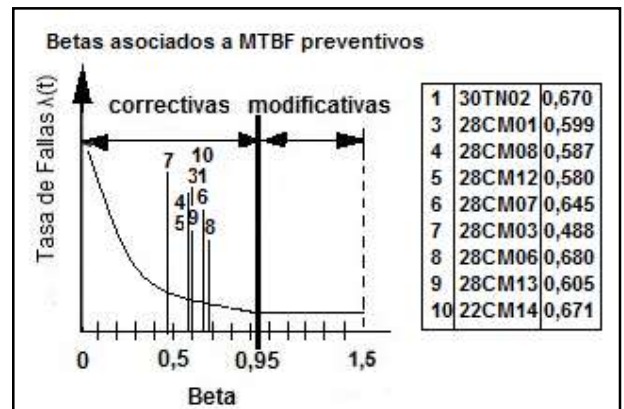
**Tabla 16.** Betas, MTBF y MTTR preventivos para todos los equipos objeto de estudio.

	MODELO	EQUIPO	MTBF PREVENTIVO HORAS	Beta	r <sup>2</sup>	MTTR PREVENTIVO HORAS	Beta	r <sup>2</sup>
1	ENC 163	30TN12	573,11	0,670	0,983	10,45	0,719	0,579
2	2241	26FH01	1698,01	0,805	0,848	22,34	0,628	0,590
3		28CM01	1302,39	0,599	0,972	13,40	0,869	0,905
4	V40	28CM08	1208,28	0,587	0,974	10,06	0,995	0,811
5		28CM12	1283,86	0,580	0,971	12,86	0,852	0,745
6		28CM07	1130,94	0,645	0,949	17,67	0,818	0,787
7	V25	28CM03	1415,72	0,488	0,981	9,37	1,012	0,820
8		28CM06	1099,32	0,680	0,948	13,79	0,818	0,718
9	V30	28CM13	1065,64	0,605	0,985	12,26	0,784	0,721
10		22CM14	1264,30	0,671	0,974	9,23	1,110	0,910

Los Betas (β) asociados a los tiempos medios entre fallas (MTBF) correctivos fueron ubicados en la curva de la bañera como se puede observar en la Figura 16.



**Fig. 16,** Ubicación de Betas (β) asociados a MTBF correctivos para los equipos objeto de estudio en la curva de la bañera o de Davies.



**Fig. 17,** Ubicación de Betas (β) asociados a MTBF preventivos para los equipos objeto de estudio en la curva de la bañera o de Davies.

En la Figura 16 se observa que los betas asociados al tiempo medio entre fallas correctivo ubican a los equipos objeto de estudio en fase de mortalidad infantil con una leve tendencia hacia la siguiente fase que es de madurez o de vida útil; en la Figura 17 es claro que los betas asociados al tiempo medio entre fallas preventivo están ubicando a los equipos solo en la fase de mortalidad infantil, por lo que se deben adelantar acciones que mejoren el desempeño de cada uno de los equipos razón por la cual recordando la información que nos

proporciona la banda de aplicabilidad de la táctica reactiva es la que se ha venido utilizando en la organización.

### **REFERENCIAS**

[1] C. Borrás, *Mantenimiento preventivo*, 1ª ed. Bucaramanga, COL: Universidad Industrial de Santander, 2013, cap. 2, sec. 2.3.6.7, pp. 24-26.

[2] L.A. Mora, *Mantenimiento. planeación, ejecución y control*, 1ª ed. México, D.F, MEX: Alfa omega. Grupo Editor S.A. de C.V, 2009, cap. 3, sec. 3.4.3, p.p. 62–63, cap. 4, p.p. 70–74, cap. 5, sec. 5.9, p.p. 106-109, cap.5, sec. 5.12, p.p. 120–126, cap. 6, sec. 6.2, p.p. 142–143, cap. 7, p.p.157–161, cap. 8, p.p.163–165.

[3] J. Moubray, *Mantenimiento centrado en confiabilidad*, 2ª ed. Asheville, N.C, USA: Aladon LLC, 2004, cap. 1, p.p. 1-14, cap. 6, p.p.133-147.

### **YAMEL OSWALDO AGUIRRE PALACIOS**

Ingeniero Mecánico, Especialista en Gerencia de Mantenimiento con conocimientos en gestión de mantenimiento preventivo, predictivo, metodología de la investigación y aseguramiento de la calidad.

Poseo experiencia en la elaboración y ejecución de planes mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo de maquinaria y equipos industriales, en compañías del sector del contra incendio Civalco Ltda (2006-2009); metalmecánico Indumil (2009-2014) y de servicios Fuller Mantenimiento (2015-2018) desempeñándome como Ingeniero de Mantenimiento con funciones de planeación estratégica, control presupuesto, manejo de personal a cargo y proveedores.

Actualmente me desempeño como asesor de empresas del sector manufacturero en el área de mantenimiento.

### **Datos de contacto.**

1. Yamel Oswaldo Aguirre Palacios.
2. Teléfono:
  - a. 7250992
  - b. 319 213 77 20.
3. Dirección del autor.
  - a. Carrera 6 a # 3-40 Barrio San Jorge, Sibaté Cundinamarca.
  - b. [asesoriamtto@gmail.com](mailto:asesoriamtto@gmail.com)
  - c. Sibaté, Cundinamarca.
  - d. Colombia.