

# Diseño del Método de disponibilidad Dupont como soporte a la toma de decisiones en el mantenimiento

## Design of the Dupont availability Method to support decision making in maintenance

Felipe Consuegra-Díaz<sup>I</sup>, Armando Díaz-Concepción<sup>II</sup>, Abel Cruz-Bayo<sup>III</sup>, Reynaldo I. Benítez-Montalvo<sup>I</sup>, Alfredo del Castillo-Serpa<sup>IV</sup>, Alberto J. Rodríguez-Piñero<sup>II</sup>

I. Centro de Inmunología Molecular. La Habana. Cuba

II. Universidad Tecnológica de La Habana, Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento. La Habana. Cuba.

III. Centro de Biopreparados, Mayabeque. Cuba.

IV. Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echeverría, Centro de Estudios de Matemática. La Habana. Cuba

Correo electrónico: [felipe@cim.sld.cu](mailto:felipe@cim.sld.cu)

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 13 de abril de 2017

Aceptado: 17 de julio de 2017

### Resumen

El objetivo de este trabajo fue diseñar el Método de Disponibilidad Dupont para compararlo con el indicador de la Efectividad Total del Equipamiento como apoyo a la toma de decisiones en el mantenimiento. En el mismo se realizó una comparación donde se utilizaron los datos históricos del año 2015 de una planta de generación de agua purificada. Se aplicaron los modelos matemáticos que caracterizan a ambos y se demostró que el

Método de Disponibilidad Dupont puede determinar cuál de los sistemas, subsistemas o componentes estuvo disminuyendo la disponibilidad, la efectividad o la calidad del activo en el período evaluado.

**Palabras claves:** disponibilidad Dupont, efectividad total del equipamiento, mantenimiento, disponibilidad.

### Abstract

The objective of the present study was to do a design of Dupont Availability Method and compare it with the Total Equipment Effectiveness indicator to support decision making in maintenance. In the same one was made a comparison where the historical data of the year 2015 of a plant of generation of purified water. The mathematical models that characterize both were applied and it was demonstrated that the Dupont Availability Method can determine

which of the systems, subsystems or components was the responsible of decreasing the availability, effectiveness or quality of the asset in the period evaluated.

**Key words:** availability Dupont, total effectiveness of equipment, maintenance, availability.

### Introducción

La concepción del mantenimiento a nivel mundial ha evolucionado de una actividad fundamentalmente reactiva a ejecutar actividades proactivas que aseguren la competitividad de la organización. Para lograr este objetivo se trazan estrategias dirigidas a perfeccionar el estado de la gestión del mantenimiento, por lo que se requiere adoptar nuevas maneras de pensar y actuar así como de la aplicación de herramientas y métodos que sirvan de soporte para la toma de decisiones durante la fase operación – mantenimiento [1, 2].

Cualquier proceso de gestión de mantenimiento se basa en el análisis de los indicadores [3, 4], para esto se necesitan bases de datos, las cuales contienen el funcionamiento y reparación de los sistemas, subsistemas y componentes del proceso de producción de los productos desarrollados en una entidad. El aprovechamiento de esta base, en muchas ocasiones, no es la más eficiente por lo que se necesita el empleo de indicadores que permitan la mejora en la toma de decisiones sobre la base de los datos que se disponen

La Efectividad Total del Equipamiento, OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) [5], es un indicador que evalúa el rendimiento del equipo mientras está en funcionamiento. Mide el porcentaje del tiempo en que una máquina produce realmente las piezas (con la calidad requerida), comparadas con el tiempo ideal que fue planeado para hacerlos.

Disha, Kumar y otros [6], en el año 2013, realizaron una investigación tomando como base el indicador de la OEE aplicado a un proceso de producción logrando detectar los tiempos perdidos, pero no lograron explicar las causas fundamentales que influyeron en los tiempos perdidos.

Fontanet Tamayo [7] 2011, en su investigación aplicó el indicador OEE con el objetivo de la toma de decisiones para incrementar la capacidad de control y predicción del aprovechamiento de las capacidades

productivas en un centro de producción donde concluyeron que el OEE, era un indicador relevante para la toma de decisiones, pero no lo utilizaron como vía para poder obtener de forma clara las causas que habían afectado el proceso.

Este trabajo consistió en diseñar el Método de Disponibilidad Dupont (MDD) para compararlo con el indicador de la Efectividad Total del Equipamiento como apoyo a la toma de decisiones en el mantenimiento aplicado a una planta de generación de agua purificada. Como resultado fundamental se obtuvo que el Método de disponibilidad Dupont permitiera visualizar las causas responsables de la pérdida de disponibilidad con la disminución de la efectividad técnica del equipamiento y la disponibilidad total logrando proporcionar un criterio efectivo para la toma de decisiones en el proceso gerencial. En los idiomas español e inglés no existen publicaciones sobre una herramienta similar.

## Métodos

La investigación se realizó en una planta de generación de agua purificada de capacidad 4500 l/h con régimen de trabajo de 24 horas y un volumen de producción mensual de 66484,67 litros. Se utilizaron dos métodos: Efectividad Total del Equipamiento (OEE) y el **Método de Disponibilidad Dupont** basado en índices de confiabilidad, diseñado en este trabajo, este método se considera una variante del análisis Dupont financiero aplicado al mantenimiento.

### Calculo de la Efectividad Total del Equipamiento usando el OEE

El cálculo de la OEE proporciona enfoque y simplicidad para ayudar en la toma de decisiones, le puede ayudar a identificar áreas de mejoramiento, permite evaluar oportunidades de ingreso, realizar una evaluación comparativa de su operación respecto a procesos similares o de la competencia [8 y 9]. Entre sus características fundamentales presenta tomar decisiones para reducir los gastos gracias a la disminución de pérdidas y verificar constantemente la eficiencia de la producción. El valor de la OEE permite clasificar una o más líneas de producción, o toda una planta, con respecto a las mejores de su clase y que ya han alcanzado el nivel de excelencia. El mismo se calcula como el producto de tres factores: disponibilidad, desempeño y calidad. Este método no permite visualizar las causas que afectan los factores de forma general, ecuación 1:

$$\% OEE = (\%Disponibilidad) * (\%Desempeño) * (\%Calidad) \quad 1$$

#### Disponibilidad:

Se corresponde con a la fracción de tiempo, del período en estudio, en el cual un equipo o sistema se encuentra en condiciones técnicas de operar se determina por la ecuación 2.

$$D = \frac{T_c - (T_{mp} + T_{mc} + T_l)}{T_c} \quad 2$$

Donde:

$T_c$ : Tiempo calendario o tiempo destinado total a la producción.

$T_{mp}$ : Tiempos perdidos por mantenimiento proactivos.

$T_{mc}$ : Tiempos perdidos por mantenimiento reactivos.

$T_l$ : Tiempos perdidos por problemas logísticos.

La disponibilidad es un valor entre 0 y 1 por lo que se suele expresar porcentualmente

#### Rendimiento:

El rendimiento es la relación entre la cantidad de productos obtenidos por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción. También puede ser definida como la relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos: cuanto menor sea el tiempo que lleve obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema. En realidad el desempeño debe ser definido como el indicador de eficiencia que relaciona la cantidad de recursos utilizados con la cantidad de producción obtenida, la expresión 3 muestra cómo se calcula.

$$Rendimiento = \frac{T_o}{(tiempo\ de\ Operación * V_{ma})} \quad 3$$

Donde:

Total de Unidades: Es el total de producción realizada.

$T_o$ : Tiempo de operación real.

$V_{ma}$ : es la velocidad máxima de trabajo del activo y se obtiene según fabricante.

El rendimiento es un valor entre 0 y 1 por lo que se suele expresar porcentualmente.

#### Calidad:

La calidad puede definirse como la conformidad relativa o con las especificaciones atendiendo al grado en que un producto cumple las especificaciones del diseño y satisfaga al cliente, la misma se puede calcular por la ecuación 4.

$$Q = \frac{No\ Uconf}{UT}$$

Donde:

$Q$ : es la medida de la calidad.

$No\ Uconf$ : número de unidades conformes.

$UT$ : Unidades totales producidas.

La calidad es un valor entre 0 y 1 y se expresa en porciento.

El indicador de la OEE permite clasificar una o más líneas de producción, o toda una planta, con respecto a las mejores de su clase y que ya han alcanzado el nivel de excelencia por lo que como rango de clasificación se puede tomar [6]:

$OEE < 65\%$  Inaceptable. Se producen importantes pérdidas económicas. Muy baja competitividad.

$65\% < OEE < 75\%$  Regular. Aceptable sólo si se está en proceso de mejora. Pérdidas económicas. Baja competitividad.

$75\% < OEE < 85\%$  Aceptable. Continuar la mejora para superar el 85%. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.

$85\% < OEE < 95\%$  Buena. Buena competitividad.

$OEE < 95\%$  Excelencia. Excelente competitividad.

### Diseño del Método de análisis de disponibilidad Dupont

El MDD es dinámico, de gran utilidad para la toma de decisiones sobre el análisis de los que esté sucediendo en el mantenimiento de un centro determinado. El diseño de este método parte de los análisis de los modelos matemáticos de confiabilidad y disponibilidad [10-12].

#### Disponibilidad global ( $D_G$ )

La disponibilidad global expresa que parte de la jornada laboral planificada es destinada a producir, luego de reflexionar los distintos tipos de causas de interrupción de dicha jornada. De la disponibilidad global se derivan, la Disponibilidad de Mantenimiento, la Disponibilidad de Operaciones y la Disponibilidad por Otras Causas, cuyas ecuaciones de cálculo se muestran a continuación.

La ecuación 5 expresa la ventaja de observar el valor calculado para cada activo y período de tiempo determinado teniendo en cuenta todos los tiempos de interrupción de la producción por las diferentes causas. [5]

$$D_G(xy) = \frac{TTEF(xy) * 100}{[TTEF(xy) + TPMR(xy) + TPMP(xy) + TPOI(xy) + TPOC(xy)]} \text{ en } \% \quad 5$$

Donde:

$TTEF(xy)$ : Tiempo total en funcionamiento del activo  $x$  en el día  $y$ .

$TPMR(xy)$ : Tiempo para mantenimiento reactivo del activo  $x$  en el día  $y$ .

$TPMP(xy)$ : Tiempo para mantenimiento preventivo del activo  $x$  en el día  $y$ .

$TPOI(xy)$ : Tiempo de interrupción que es responsabilidad de operaciones del activo  $x$  en el día  $y$ .

$TPOC(xy)$ : Tiempo de interrupción por otras causas del activo  $x$  en el día  $y$ .

#### Disponibilidad de mantenimiento ( $D_M$ ).

La Disponibilidad en Mantenimiento Global depende de dos indicadores, la Disponibilidad en Mantenimiento Preventivo, DP y la Disponibilidad en Mantenimiento Reactivo, DR, entre otros, ecuación 6.

$$D_M(xy) = \frac{TTEF(xy) * 100}{[TTEF(xy) + TPMR(xy) + TPMP(xy)]} \text{ en } \% \quad 6$$

#### Disponibilidad de operaciones ( $D_O$ )

La Disponibilidad en Operaciones es el indicador que depende del tiempo de preparación de la suspensión de la planta de generación de agua purificada y del tiempo en que se demoran la instrumentación de control del proceso de producción, en alcanzar los valores óptimos para la puesta en marcha de la instalación, ecuación 7.

$$D_O(xy) = \frac{TTEF(xy) * 100}{[TTEF(xy) + TPOI(xy)]} \text{ en } \% \quad 7$$

#### Disponibilidad de otras causas ( $D_{Oc}$ )

La Disponibilidad en Otras Causas es el indicador que depende del tiempo que no se puede producir por falta de fluido eléctrico, agua, vapor industrial y paradas imprevistas por otras causas ajenas al mantenimiento y operaciones, ecuación 8.

$$D_o(xy) = \frac{TTEF(xy) * 100}{[TTEF(xy) + TPOI(xy)]} \text{ en } \%$$

Una vez obtenidos los diferentes elementos se confecciona una figura que contengan los resultados de los mismos permitiendo presentar estos de forma dinámica. Estas figuras se pueden elaborar con cualquier software de gráficos, en esta investigación se utilizó el Excel 2007.

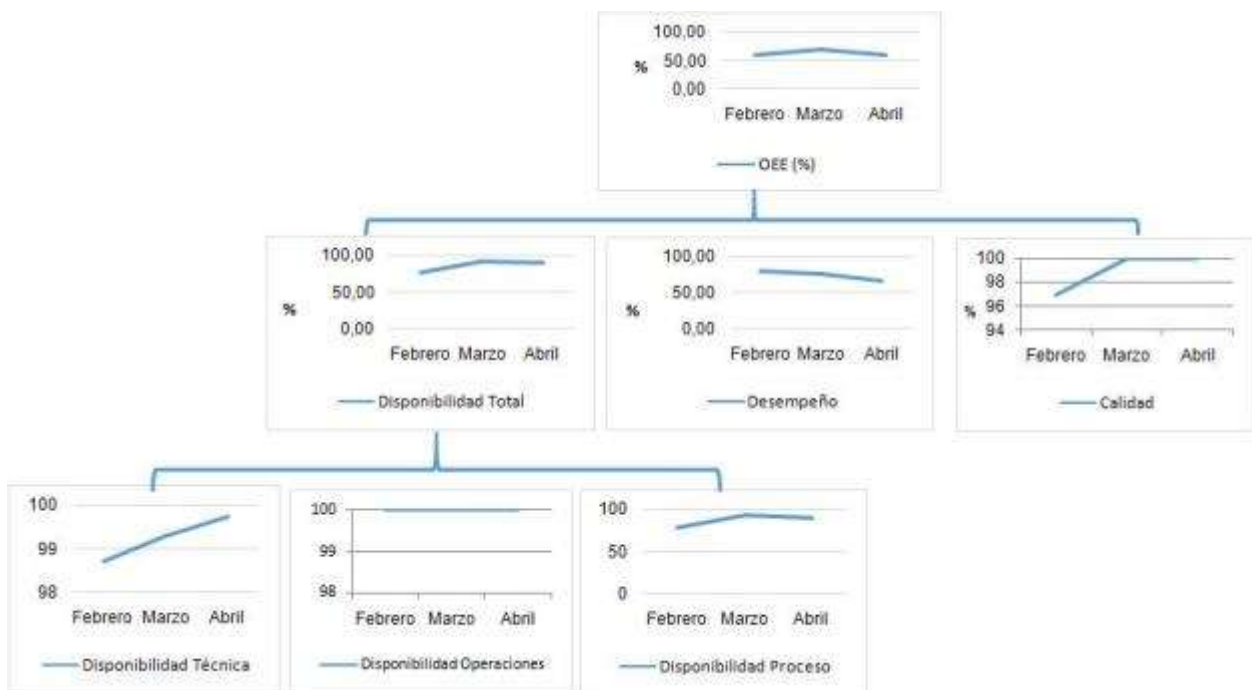
### Resultados y Discusión

Para evaluar al indicador OEE se tomaron los antecedentes referidos a los meses febrero, marzo y abril, por la importancia que representaron algunos fallos en la producción de agua purificada, los cuales se presentan en la siguiente tabla 1:

**Tabla 1.** Indicadores de la Efectividad Total del Equipamiento (OEE)

Mes	Disponibilidad Técnica %	Disponibilidad de operaciones %	Disponibilidad del proceso %	Disponibilidad Total %	Desempeño %	Calidad %	OEE %
Febrero	98,71	99,99	78,89	77,86	80,42	97,00	60,74
Marzo	99,29	100,00	93,10	92,43	77,55	100,00	71,68
Abril	99,76	100,00	90,75	90,53	66,88	100,00	60,55

De los resultados anteriores se puede observar que la disponibilidad total influyó significativamente en la disminución del OEE. En la figura 1 se muestra el comportamiento de cada indicador.



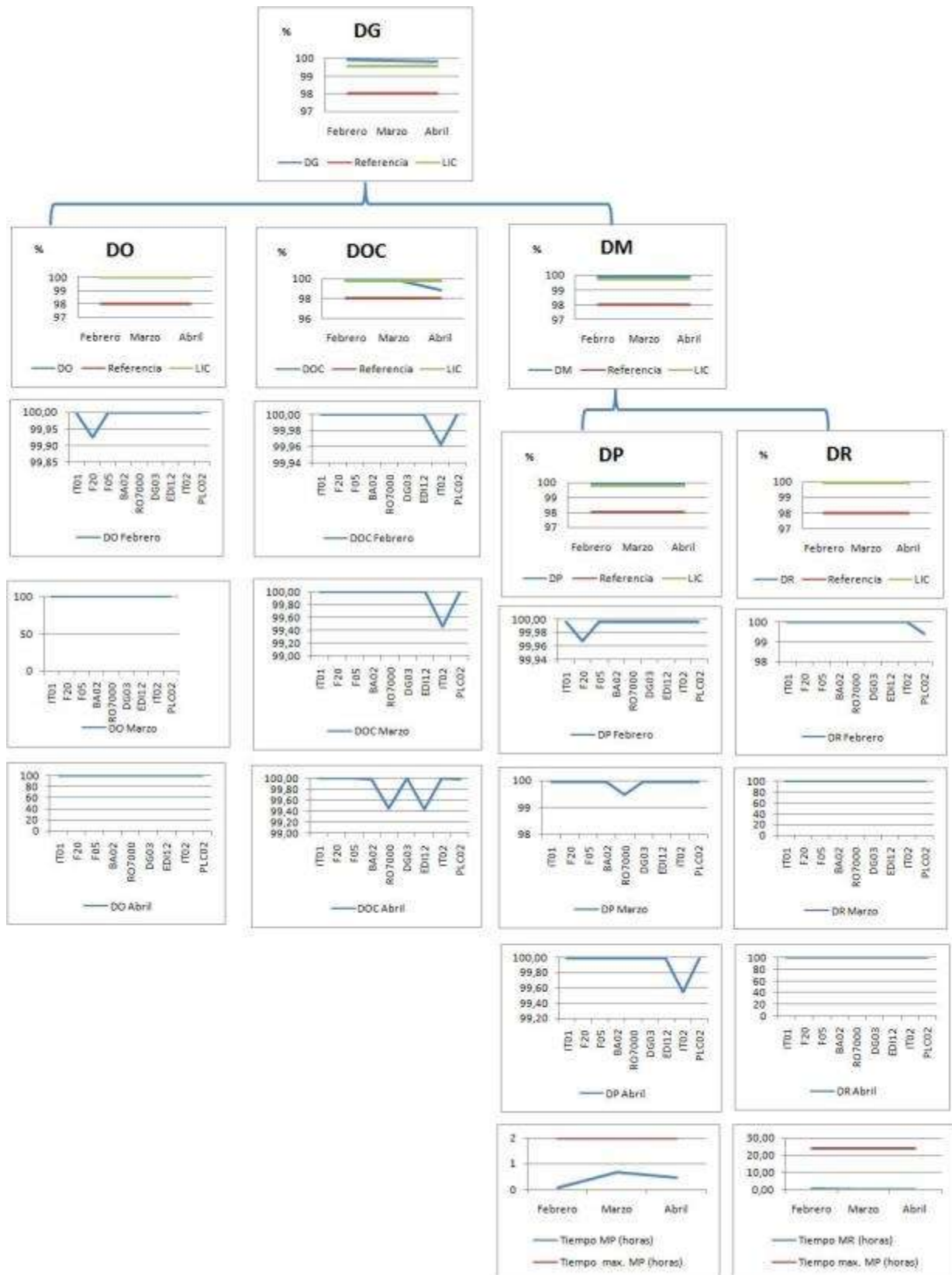
**Fig. 1.** Comportamiento de los factores que influyen en el OEE

Del MDD se deriva la tabla 2 donde se muestran los resultados alcanzados en las ecuaciones 5, 6, 7 y 8

**Tabla 2.** Valores de correspondientes a la disponibilidad

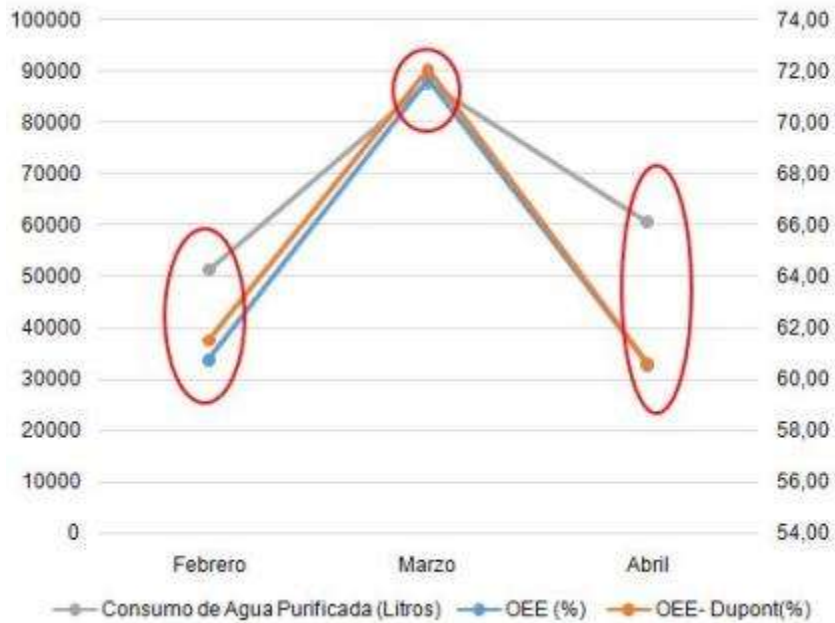
Mes/Indicador	D <sub>O</sub> (%)	D <sub>OC</sub> (%)	D <sub>M</sub> (%)	D <sub>G</sub> (%)
Febrero	99,99	99,99	99,92	99,91
Marzo	100	99,93	99,91	99,85
Abril	100	99,91	99,94	99,81

De la Tabla 2 se puede observar la alta disponibilidad global del equipamiento en el período analizado, sin embargo, se observa una ligera tendencia de disminución de la misma. En la figura 2 se observa el comportamiento de los diferentes factores.



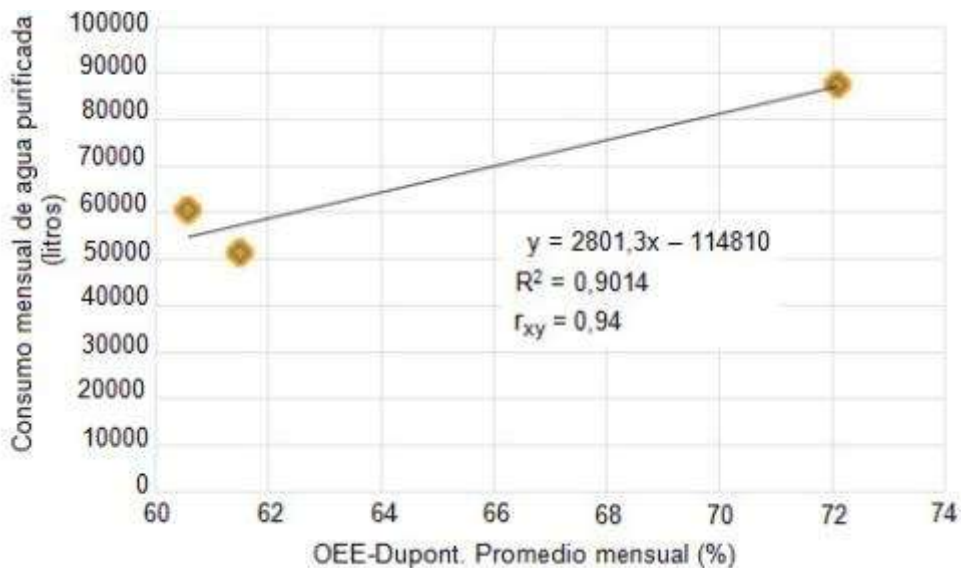
**Fig. 2.** Comportamiento de los factores que influyen en la disponibilidad global por el Método de disponibilidad Dupont

En el período señalado se procesaron los datos históricos donde se obtuvieron los resultados de la MDD y la OEE. En la figura 3 se presentan los resultados de la OEE y del MDD aplicado al cálculo de la Eficiencia Técnica del Equipamiento (OEE), donde se evidencia una correlación entre en el consumo de agua purificada y ambos indicadores. Si se comparan el OEE con el MDD aplicado al centro de esta investigación (ver Fig. 1 y Fig. 2), se observa que en el segundo se han determinado los elementos que pueden tener una baja disponibilidad y que afectan la eficiencia y calidad del proceso.



**Fig. 3.** Comportamiento de consumo de agua purificada, OEE y MDD

En la figura 4 se observa la validación del método, donde se muestra que los datos analizados responden a un modelo lineal esperado para estos tipos de análisis.



**Fig. 4.** Correlación OEE- MDD y consumo de agua purificada

En la figura 4 se calcula el coeficiente de correlación  $r_{xy}$ , mostrándose un incremento simultáneo de ambas variables y una fuerte relación lineal que se comprobó con el coeficiente de determinación  $R^2$ , donde aproximadamente el 90 % de los errores que se cometerían estimando el promedio del consumo de agua se eliminarían utilizando la ecuación de regresión propuesta en la figura 4 en función del OEE-MDD.

El trabajo puede complementarse si se adiciona a la herramienta otros indicadores de confiabilidad como la confiabilidad del activo y la confiabilidad del proceso.

## Conclusiones

El uso del Método de Disponibilidad Dupont aplicado al cálculo de la efectividad global permitió identificar las pérdidas de disponibilidades que son las causantes de los bajos valores de efectividad del equipamiento en los meses de febrero, marzo y abril.

La pérdida de efectividad estuvo asociada a otras causas, detectadas por el Método de Disponibilidad Dupont, algo que no permitió se logró hacer usando el método de la OEE.

## Referencias

1. Díaz Concepción A, Viego Ariet N, Abril Romero J. Estudio de confiabilidad operacional como soporte al mantenimiento aeronáutico en Cuba. *Ingenierías*. 2015;28(66):7-15.
2. Díaz Concepción A, Castillo Serpa A, Horne Bárbara M. Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos. *Ingeniería Mecánica*. 2012;15(1):34-43.
3. Alveiro Montoya C. El Balanced Scorecard como Herramienta de Evaluación en la Gestión Administrativa. *Visión de futuro*. 2011;15(2):1-25.
4. Viveros P, Stegmaier R, Kristjanpoller F, et al. Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare*. 2013;21(1):125-38.
5. Vijayakumar SR, Gajendran S. Improvement of overall equipment effectiveness (OEE) in injection moulding process industry. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*. 2014 (2):47-60.
6. Disha M N, Vijaya Kumar M, et al. Evaluation of OEE in a continuous process industry on an insulation line in a cable-manufacturing unit. *International Journal of Innovative Research in Science. Engineering and Technology*. 2013;2(5):1629-34.
7. Fontanet Tamayo L. La Excelencia Operacional en la industria biotecnológica. Una aproximación desde las operaciones industriales del CIM. *Revista Bioprocesos*. 2011;6:2-7.
8. Parihar S. Calculation of OEE for an Assembly Process. , 2012. Vol. 2, No. 2, p. 25-29. *International Journal of research In Mechanical engineering & technology*. 2012;2(2):25-9.
9. Bupe G, Charles Mbohwa M. Design of a total productive maintenance model for effective implementation: Case study of a chemical manufacturing company. *Procedia Manufacturing*. 2015;4:461-70.
10. Moubray J. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Gran Bretaña: Aladon Ltda; 2004.
11. Palencia GO. *Gestión Integral de Mantenimiento Basada en Confiabilidad*. Bogotá, Colombia: Confiabilidad.net; 2015. [Citado 10 de agosto 2016] Disponible en: <http://confiabilidad.net/articulos/gestion-integral-demantenimiento-basada-en-confiabilidad>
12. Deepak Prabhakar P, Jagathy Raj VP. CBM, TPM, RCM and A-RCM - A Qualitative Comparison of Maintenance Management. *IJMBS*. 2014;4(3):5-8.