

CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA - CUC
GRUPO DE INVESTIGACION EN OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA (GIOPEN)
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**INFORME TECNICO ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA ENERGIA EN UNA
INDUSTRIA DEL SECTOR QUÍMICO.**

Elaborado por:

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA - GIOPEN

**BARRANQUILLA.
MAYO-2015**

Índice

| | |
|--|----|
| 1. Resumen ----- | 2 |
| 2. Objetivos de la etapa desarrollada ----- | 2 |
| 3. Cronograma de ejecución del proyecto y actividades realizadas en esta etapa.... | 2 |
| 4. Información solicitada y evaluada ----- | 3 |
| 4.1. Análisis estadísticos. de la variable consumo eléctrico ----- | 4 |
| 4.2. Análisis estadísticos. de la variable baterías producidas----- | 5 |
| 4.3. Análisis del indicador de eficiencia energética.----- | 7 |
| 5. Gráficos. ----- | 8 |
| 4.1. Gráfico de producción y consumo de energía. ----- | 8 |
| 4.2 Gráficos de dispersión. ----- | 9 |
| 5. Línea de base energética preliminar. ----- | 10 |
| 6. Análisis del factor de potencia. ----- | 11 |

Resumen

Se realiza un análisis de las variables que inciden en el consumo de energía y la producción para confirmar que cumplan con una distribución normal y poder obtener un indicador que permita gestionar el consumo de energía en la empresa. Se realizan gráficos de control de la variable eficiencia energética y de consumo de energía contra producción en el tiempo para detectar posibles meses en los que el consumo y la producción no se comportan de la misma manera. Se obtiene un gráfico de dispersión entre las variables producción de baterías y consumo de energía a partir de la cual se obtiene una línea base que puede ser utilizada en el desarrollo del trabajo.

1. Objetivos de la Etapa desarrollada.

| Etapa | Actividades |
|---------------------------------------|---|
| Análisis de la Información Preliminar | Evaluación de la calidad de los registros y datos Evaluación del indicador de eficiencia energética en uso. Propuesta de nuevo indicador de eficiencia energética (de ser necesario) Establecimiento de línea base energética preliminar Establecimiento de la línea meta de eficiencia energética preliminar Establecimiento de la línea de deterioro preliminar Estimación del potencial de ahorro preliminar. Análisis del factor de potencia. Planeación de la prueba de operación controlada |

2. Cronograma De Ejecución

| Etapa | Semanas Ejecución | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| Análisis de información preliminar | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Evaluación energética de operación controlada de la planta | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Identificación de áreas críticas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Evaluación de las áreas críticas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Elaboración del informe final | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

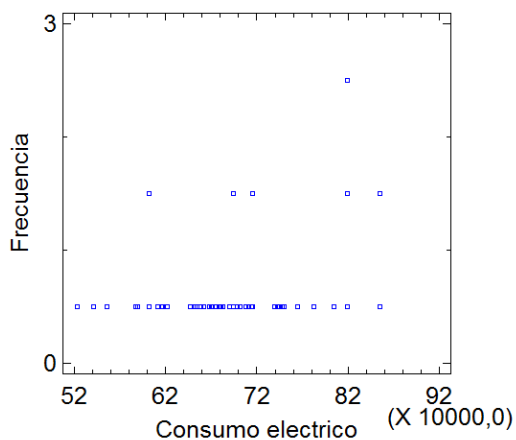
3. Información solicitada y evaluada.

3.1 Analisis estadísticos. de la variable consumo eléctrico.

Se realiza un analisis estadístico de las variables para comprobar su distribución normal y su validez.

| Mes | Consumo | Mes | Consumo | Mes | Consumo | Mes | Consumo |
|--------|-----------|--------|----------|---------------|-----------------|---------------|------------------|
| mar-11 | 601867,6 | abr-12 | 621912,7 | <u>abr-13</u> | <u>694230,3</u> | abr-14 | 698372,8 |
| abr-11 | 589822,3 | may-12 | 615596,6 | <u>may-13</u> | <u>694230,3</u> | may-14 | 708082,1 |
| may-11 | 556325,6 | jun-12 | 679277,5 | jun-13 | 667855,9 | jun-14 | 750235,4 |
| jun-11 | 523344,9 | jul-12 | 671159,0 | <u>jul-13</u> | <u>715302,6</u> | jul-14 | 742446,4 |
| jul-11 | 587175,3 | ago-12 | 710800,6 | <u>ago-13</u> | <u>715302,6</u> | ago-14 | 764600,8 |
| ago-11 | 616947,9 | sep-12 | 661887,9 | sep-13 | 674623,0 | sep-14 | 804711,7 |
| sep-11 | 541404,4 | oct-12 | 690446,2 | oct-13 | 782258,9 | <u>oct-14</u> | <u>855143,28</u> |
| oct-11 | 681070,0 | nov-12 | 744329,1 | nov-13 | 747345,2 | <u>nov-14</u> | <u>855143,28</u> |
| nov-11 | 658452,1 | dic-12 | 611573,8 | dic-13 | 669950,1 | <u>dic-14</u> | <u>818602,80</u> |
| dic-11 | 647108,0 | ene-13 | 701241,3 | ene-14 | 713881,3 | <u>ene-15</u> | <u>818602,80</u> |
| ene-12 | 654273,2 | feb-13 | 682715,6 | feb-14 | 651945,2 | <u>feb-15</u> | <u>818602,80</u> |
| feb-12 | 655432,6 | mar-13 | 689803,8 | mar-14 | 738945,2 | | |
| mar-12 | 601867,68 | | | | | | |

Diagrama de Puntos



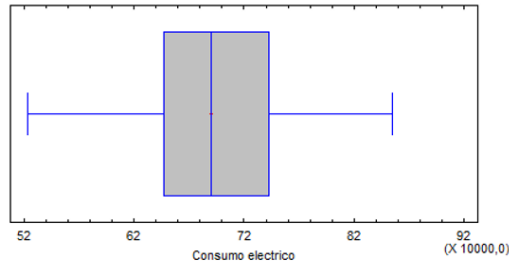
- El diagrama de puntos arroja que hay 3 valores repetidos dos veces y uno tres veces. En la tabla se señalan estos valores en rojo.
- Por la naturaleza de la variable es literalmente imposible que las lecturas sean idénticas en meses distintos.
- Deben verificarse las facturas de esos meses y esclarecer si hay algún ajuste con el proveedor o introducir correctamente el dato.
- Es imprescindible que el dato sea fiable para lograr el buen resultado del trabajo.

Resumen estadístico.

Resumen Estadístico para Consumo electrico

| | |
|---------------------------|-----------|
| Recuento | 47 |
| Promedio | 690230, |
| Desviación Estándar | 78416,2 |
| Coefficiente de Variación | 11,3609% |
| Mínimo | 523345, |
| Máximo | 855143, |
| Rango | 331798, |
| Sesgo Estandarizado | 0,417855 |
| Curtosis Estandarizada | -0,207011 |

Gráfico de Caja y Bigotes



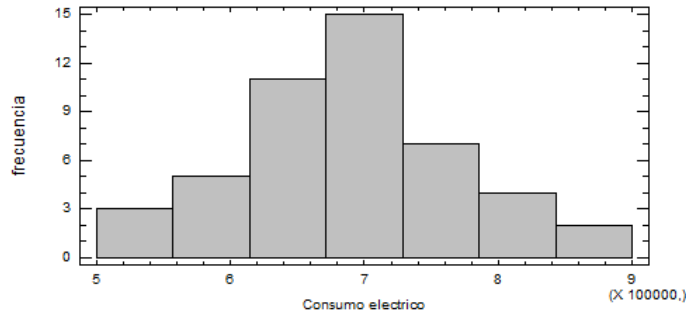
Intervalos de Confianza para Consumo electrico

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: 690230, +/- 23023,9 [667206,; 713254,]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [65161,9; 98489,6]

Al tener valores de Sesgo estandarizado y Curtosis entre -2 y 2 se puede afirmar que la variable proviene de una distribución normal, lo que se ratifica con el histograma.

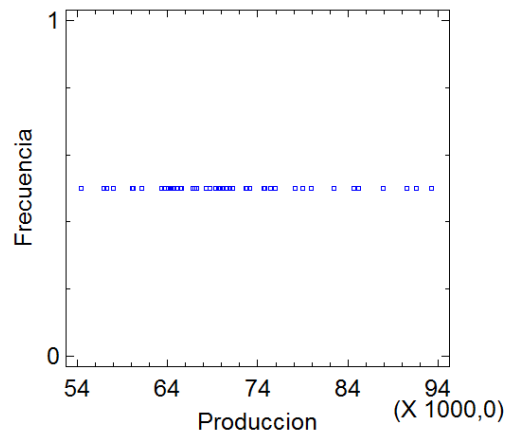
Histograma



3.2 Analisis estadístico de la variable baterias producidas.

| Mes | Producción | Mes | Consumo | Mes | Consumo | Mes | Consumo |
|---------------|------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| mar-11 | 64361 | abr-12 | 63668 | abr-13 | 67208 | abr-14 | 74706 |
| abr-11 | 68676 | may-12 | 60230 | may-13 | 68306 | may-14 | 72719 |
| may-11 | 56972 | jun-12 | 79972 | jun-13 | 61171 | jun-14 | 70626 |
| jun-11 | 58007 | jul-12 | 60088 | jul-13 | 69623 | jul-14 | 84632 |
| jul-11 | 64629 | ago-12 | 74761 | ago-13 | 66854 | ago-14 | 85136 |
| ago-11 | 65419 | sep-12 | 70905 | sep-13 | 64114 | sep-14 | 82436 |
| sep-11 | 57321 | oct-12 | 63370 | oct-13 | 75387 | oct-14 | 91573 |
| oct-11 | 71254 | nov-12 | 73059 | nov-13 | 69832 | nov-14 | 93205 |
| nov-11 | 75938 | dic-12 | 54486 | dic-13 | 65584 | dic-14 | 87895 |
| dic-11 | 67025 | ene-13 | 65165 | ene-14 | 70042 | ene-15 | 90533 |
| ene-12 | 72781 | feb-13 | 69759 | feb-14 | 73057 | feb-15 | 78947 |
| feb-12 | 71698 | mar-13 | 64294 | mar-14 | 78190 | | |
| mar-12 | 69372 | | | | | | |

Diagrama de Puntos

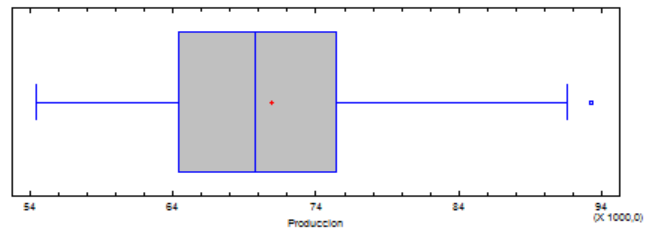


El diagrama de puntos arroja que la frecuencia de todos los datos es 1.

Resumen Estadístico para Produccion

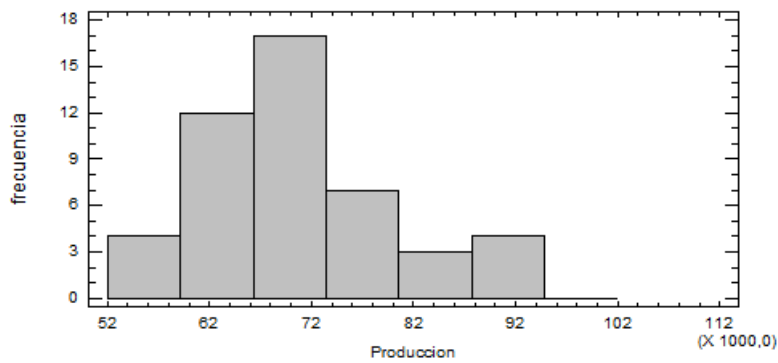
| | |
|---------------------------|-----------|
| Recuento | 47 |
| Promedio | 70921,0 |
| Desviación Estándar | 9313,57 |
| Coefficiente de Variación | 13,1323% |
| Mínimo | 54486,0 |
| Máximo | 93205,0 |
| Rango | 38719,0 |
| Sesgo Estandarizado | 1,83802 |
| Curtosis Estandarizada | 0,0934489 |

Gráfico de Caja y Bigotes



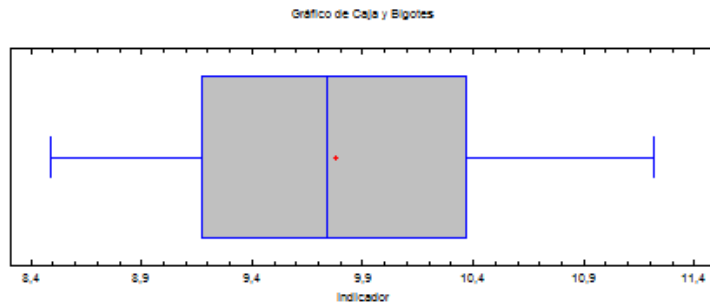
Al tener valores de Sesgo estandarizado y Curtosis entre -2 y 2 se puede afirmar que la variable proviene de una distribución normal, lo que se ratifica con el histograma.

Histograma

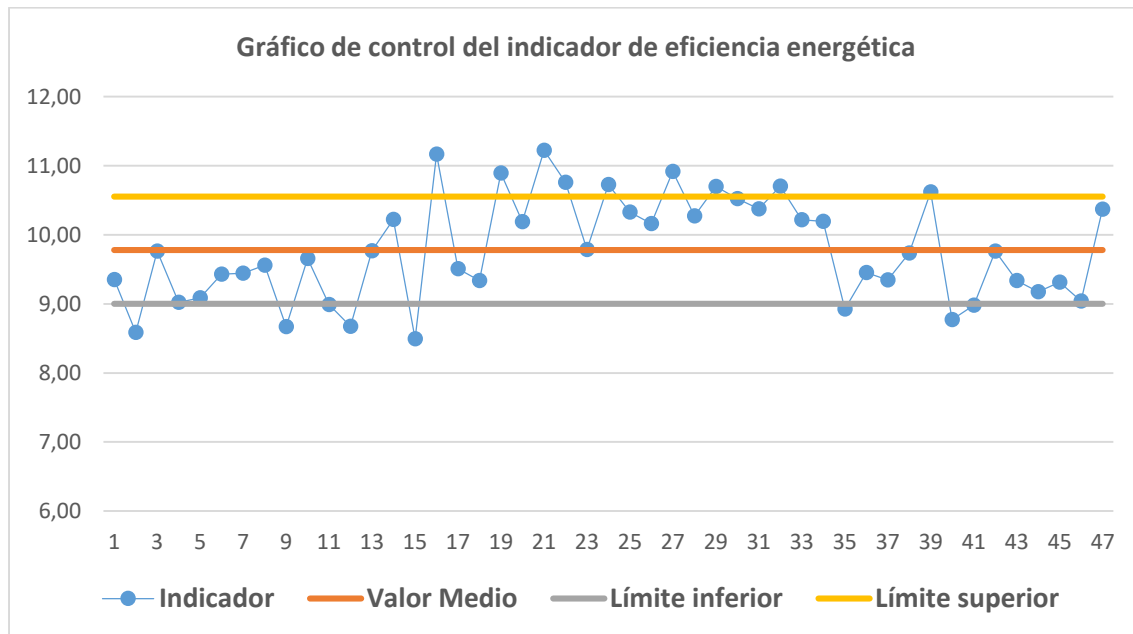
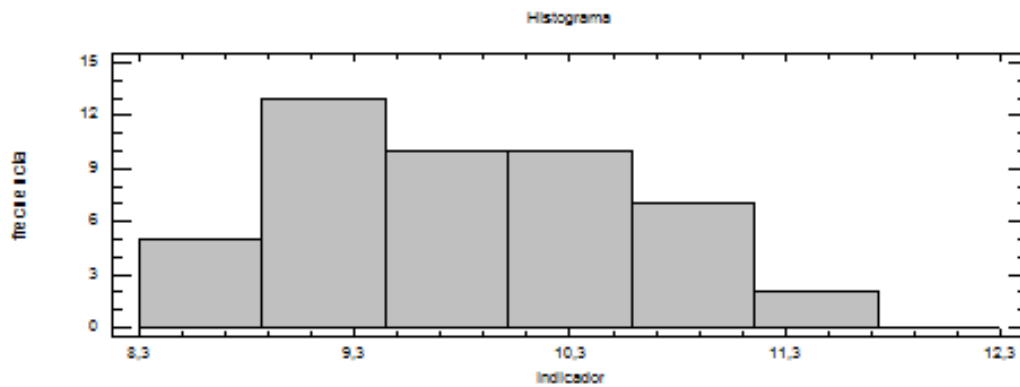


3.3. Analisis del indicador de eficiencia energética.

| Resumen Estadístico para Indicador | |
|------------------------------------|----------|
| Recuento | 47 |
| Promedio | 9,77723 |
| Desviación Estándar | 0,744168 |
| Coefficiente de Variación | 7,61123% |
| Mínimo | 8,49 |
| Máximo | 11,22 |
| Rango | 2,73 |
| Sesgo Estandarizado | 0,463182 |
| Curtosis Estandarizada | -1,40873 |



Al tener valores de Sesgo estandarizado y Curtosis entre -2 y 2 se puede afirmar que la variable proviene de una distribución normal, lo que se ratifica con el histograma.



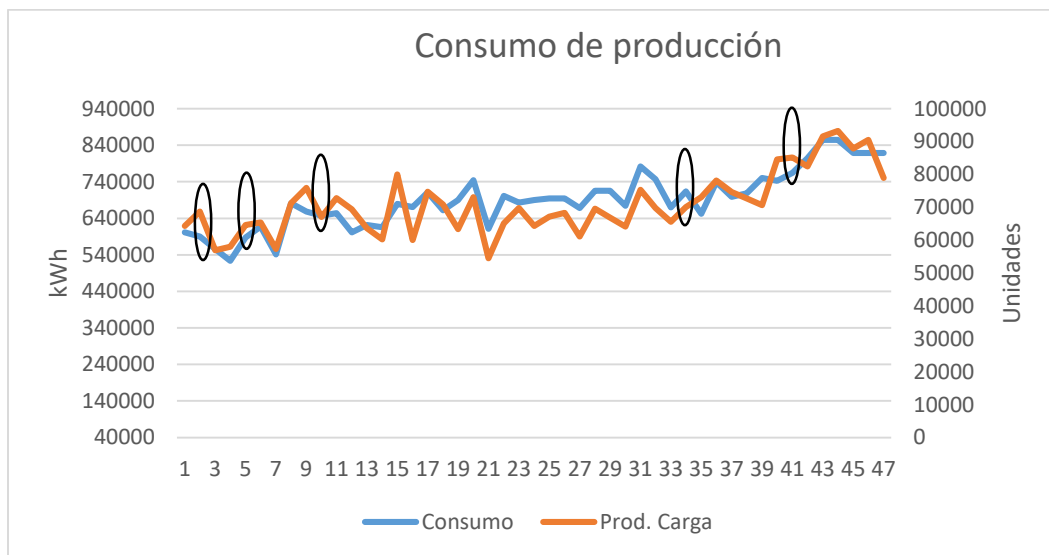
Del gráfico de control se evidencia que hay 15 puntos fuera de la zona de control y 5 en la misma línea establecida entre en valor medio \pm la desviación estandar lo que representa un 43% de los datos disponibles. El elevado porcentaje de puntos fuera de esa zona representa una dispersión elevada para un indicador de gestión, a manera de hipótesis esa situación puede tener las siguientes causas:

- El indicador considera todas las baterías producidas iguales.
- La baja confiabilidad de los datos de consumo
- Altos niveles de consumo eléctrico no asociados a la producción.
- Influencia del momento en que se reportan las mediciones de consumo y producción, que puede generar traspaso de producciones de un mes a otro.

4. Gráficos.

4.1. Gráfico de producción y consumo de energía.

El siguiente gráfico tiene como propósito evaluar la no correspondencia entre el comportamiento de la producción y el consumo eléctrico.



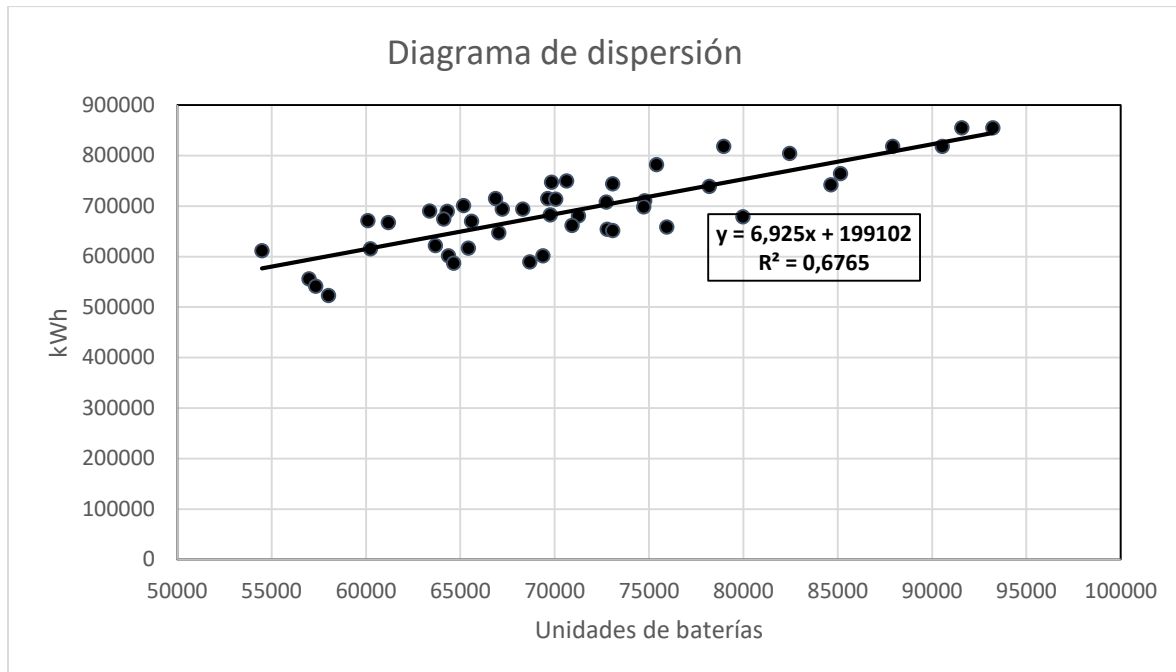
Del mismo se puede observar que existen incongruencias en los datos analizados, destacándose los puntos señalados con círculos que identifican los meses donde son mayores las mismas, estas incongruencias están ocasionadas por:

- Incremento de la producción y disminución en el consumo de energía.
- Disminución de la producción y aumento en el consumo de energía.
- Se mantiene constante una variable y aumenta o disminuye la otra.

4.2 Gráficos de dispersión.

Se realiza un gráfico de dispersión de consumo vs producción el cual se muestra en la Figura a continuación, del mismo se puede observar que:

- ✓ No hay buena correlación.



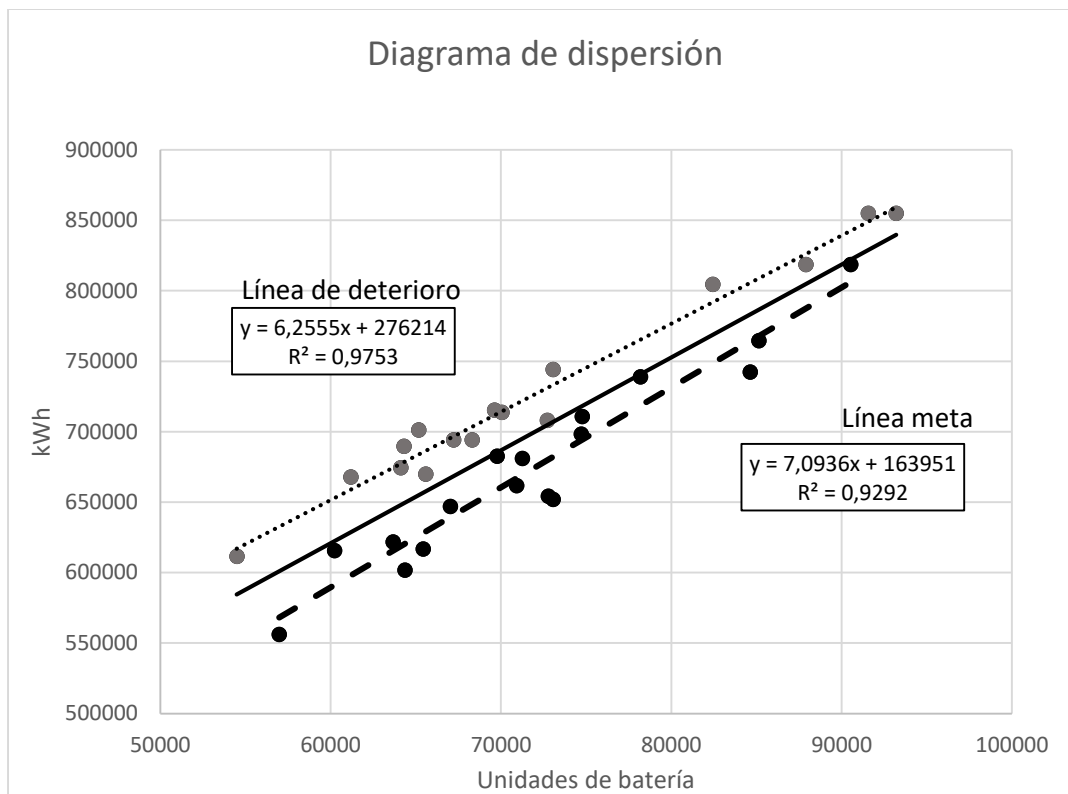
5. Línea de base energética preliminar.

En la Figura a continuación se muestra la línea de tendencia de consumo vs producción para todos los puntos, se seleccionan los valores que están por debajo para establecer la línea meta y con ello determinar un ahorro potencial del 5 % del consumo de energía.

Si se seleccionan los valores que están por encima de la línea base se puede obtener el potencial de deterioro de esta, representada a través de la línea de deterioro, identificándose un potencial de empeoramiento del desempeño energético del 10,5 %.

Estos estimados se basan en los actuales valores de operación sin evaluar la implementación de medidas de eficiencia energética que mejoren el desempeño energético de la planta ni la posible ocurrencia de incidencias que la empeoren.

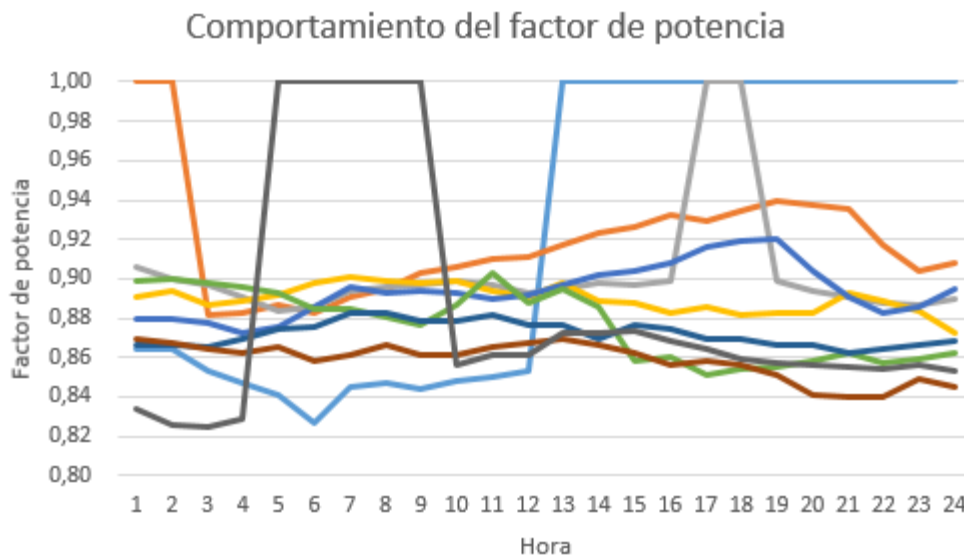
Nota: Este estimado es muy cercano al ahorro potencial que se determinó para la zona de cargas de las baterías y compresores.



6. Análisis de factor de potencia.

En el análisis realizado sobre el factor de potencia, se evidencia un mal uso de capacitores instalados. Esto se demuestra debido a que el factor de potencia fluctúa desde valores inferiores a 0,86, lo cual es bajo, hasta valores altos que llegan a 1. Lo anterior se confirma por la generación de potencia reactiva reportada.

En las figuras siguientes se presentan los gráficos que muestran lo explicado.





Bibliografía

- Backlund, S., Thollander, P., Palm, J., Ottosson, M. (2012). Extending the energy efficiency gap. *Energy Policy*, 51, 392–396.
- Block, L., Larsen, A., Togeby, M. (2006). Empirical analysis of energy management in Danish Industry. *Journal of Cleaner Production*, 14(5), 516–526.
- Bunse, K., Vodicka, M., Schönsleben, P., Brühlhart, M., Ernst, F. (2011). Integrating energy efficiency performance in production management e gap analysis between industrial needs and scientific literature. *Journal of Cleaner Production*. 19 (6), 667-679.
- Cabello, J., Santos, V, Gutiérrez, A., Álvarez Guerra, M., Haeseldonckx, D., Vandecasteele, C. (2016). Tools to improve forecasting and control of the electricity consumption in hotels. *Journal of Cleaner Production*. 137(20), 803-812.
- Chen, H., Wei, Y., Luo, Y., Duan, S. (1996). Study and application of several-step tank formation of lead/acid battery plates. *Journal of power sources*. 59(1), 59-62.
- Chowdhury, A. (2015). How Soft Sensing Using Simulation Enhances Plant Process Management. Resource document. Cognizant 20-20 Insights. <https://www.cognizant.com/whitepapers/how-soft-sensing-using-simulation-enhances-plant-process-management-codex1186.pdf> . August 2016.
- Cope, R. C., Podrazhansky, Y. (1999). The art of battery charging. *Battery Conference on Applications and Advances*,. The Fourteenth Annual. Long Beach, CA, USA, 233-235.
- Cruz Viroso, I., Cabello Eras, J. J., & Sorinas González, L. (2015). Evaluación de la calidad del aire en Cienfuegos. Mejoras en el desempeño ambiental. CUBASOLAR. *Revista Científica de las Fuentes Renovables de Energía*, 52.
- Dahodwalla, H., Herat, S. (2000). Cleaner production options for lead-acid battery manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*. 8(2), 133-142.
- Fortuna, L., Graziani, S., Xibilia, M.G. (2005). Soft sensors for product quality monitoring in debutanizer distillation columns. *Control Engineering Practice*. 13(4), 499-508.

- Friedman, J., Hastie, T., Tibshirani, R. (2001). *The elements of statistical learning* (Vol. 1). Springer, Berlin: Springer series in statistics.
- Giacone, E., Mancò, S. (2012). Energy efficiency measurement in industrial processes. *Energy* 38(1), 331-345
- Goldberg, A., Reinaud, J., Taylor, R. (2011). *Promotion Systems and Incentives for Adoption of Energy Management Systems in Industry*. Source of document. Institute for Industrial Productivity, Washington, DC, United States. <http://www.iipnetwork.org/IIP-6.%20PromotionSystemsEnMSChina1.pdf>. September 2016.
- Hernández Herrera, H., Espinosa, R. G., Rodríguez, J. M., & Jackson, I. M. (2004). Nuevas expresiones para el cálculo a torsión de costuras soldadas de filete de configuración compleja. //New expressions for torsion shear stress calculation in welding fillets. *Ingeniería Mecánica*, 7(3), 7-14.
- Hernández Herrera, H., Goytisol Espinosa, R., Moya Rodríguez, J., & Jackson, I. M. (2005). Perfeccionamiento de los esquemas de análisis y del cálculo de las tensiones en las uniones soldadas a solape con costuras de filete longitudinal y transversal. *Ingeniería Mecánica*, 8(1), 79-86.
- Schluchter, M.D. (2014). Mean Square Error. *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*. DOI: 10.1002/9781118445112.stat05906.
- ISO. 2011. 50001. (2011). *Energy management systems--Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization.
- ISO. 2012. 50004. (2012). *Energy management systems — Guidance for the implementation, maintenance and improvement of an energy management system*. International Organization for Standardization.
- ISO. 2014. 50006. (2014). *Energy management systems. Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI). General principles and guidance*. International Organization for Standardization.
- IEC 60095-1. (2000). *Lead-acid starter batteries—part I: General requirements and methods of test*.
- Jung, J., Zhang, L., Zhang, J. (2016). *Lead-acid Battery technologies. Fundamentals, materials, and applications*. CRC Press. Taylor & Francis Group. New York.
- Kiessling, R. (1992) . *Lead acid battery formation techniques*. Source of document. Digatron Firing Circuits. http://www.digatron.com/fileadmin/pdf/lead_acid.pdf . August 2011.
- McAvoy, T., 1992. Contemplative stance for chemical process control. *Automatic*. 28(2), 441–442.
- McElroy, L., Bao, J., Yang, R.Y., Yu, A.B. (2009). Soft-sensors for prediction of impact energy in horizontal rotating drums. *Powder Technology*. 195(3), 177-183.
- McKane, A., Scheihing, P., Williams, R. (2008). *Certifying industrial energy efficiency performance: aligning management, measurement, and practice to create market value*. Source of document. Lawrence Berkeley National Laboratory. http://aceee.org/files/proceedings/2007/data/papers/56_5_049.pdf. September 2016.
- Miloloža, I. (2013). Tendencies of development of global battery market with emphasis on republic of Croatia. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*. 11(3), 318-333.
- Pavlov, D. (2011). *Lead-acid batteries: Science and technology. A handbook of lead-acid battery technology and its Influence on the product* (1st Ed). Amsterdam. Elsevier.

- Pavlov, D., Petkova, G., Dimitrov, M., Shiomi, M., Tsubota, M. (2000) . Influence of fast charge on the life cycle of positive lead–acid battery plates. *Journal of power sources*. 87(1), 39-56.
- Petkova, G., Pavlov, D. (2003). Influence of charge mode on the capacity and cycle life of lead–acid battery negative plates. *Journal of power sources*. 113(2), 355-362.
- Poscha, A., Brudermann, T., Braschela, N., Gabriel, M. (2015). Strategic energy management in energy-intensive enterprises: a quantitative analysis of relevant factors in the Austrian paper and pulp industry. *Journal of Cleaner Production*. 90, 291–299.
- Prout, L. (1993). Aspects of lead/acid battery technology 4. Plate formation. *Journal of power sources*. 41(1), 195-219.
- Santos, V. S., Felipe, P. R. V., Sarduy, J. R. G., Quispe, E. C., & Balbis, M. (2016). Shaft Power Estimation in Induction Motor Operating Under Unbalanced and Harmonics Voltages. *IEEE Latin America Transactions*, 14(5), 2309-2315.
- Rydh, C.J., Sandén, B.A. (2005). Energy analysis of batteries in photovoltaic systems. Part I: Performance and energy requirements. *Energy Conversion and Management*. 46(11), 1957-1979.
- Rudberg, M., Waldemarsson, M., Lidestam, H. (2013). Strategic perspectives on energy management: A case study in the process industry. *Applied Energy*. 104, 487–496.
- Samper, M. A. G., Guilianny, J. G., & Eras, J. C. (2017). Eficiencia en el uso de los recursos y producción más limpia (recp) para la competitividad del sector hotelero. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 11(2).
- Sullivan, J. L., Gaines, L. (2012) . Status of life cycle inventories for batteries. *Energy Conversion and Management*. 58, 134-148.
- Sousa, V., Viego, P. R., Gómez, J. R., Quispe, E. C., & Balbis, M. (2015, October). Estimating induction motor efficiency under no-controlled conditions in the presences of unbalanced and harmonics voltages. In *Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), 2015 CHILEAN Conference on* (pp. 567-572). IEEE.
- Thanayankizil, L. V., Ghai, S. K., Chakraborty, D., Seetharam, D.P. (2012). Softgreen: Towards energy management of green office buildings with soft sensors. Source of document. Fourth International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS 2012). IEEE. Bangalore, India. <https://pdfs.semanticscholar.org/3665/f7955f5cab8d65bc1d11be81a6b1969d9bfa.pdf> . July 2016.
- Thi Minh, N. (2009). Lead acid batteries in extreme conditions: accelerated charge, maintaining the charge with imposed low current, polarity inversions introducing non-conventional charge methods. Doctoral dissertation. Source of document. Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc. France. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00443615/document> . September 2016.
- Vesma, V. (2009). *Energy Management Principles and Practice*. Source of document. British Standards Institution. <http://group.skanska.com/globalassets/sustainability/environmental-responsibility/energy/energy-management-bip2187.pdf>. August 2016.
- Warne, K., Prasad, G., Rezvani, S., Maguire, L. (2004). Statistical and computational intelligence techniques for inferential model development: a comparative evaluation and a novel proposition for fusion. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 17(8), 871-885.
- Weinert, N., Chiotellis, S., Seliger, G. (2011). Methodology for planning and operating energy-efficient production systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 60(1), 41–44.

Wong, Y.S., Hurley, W.G. Wölfle, W.H. (2008). Charge regimes for valve-regulated lead-acid batteries: Performance overview inclusive of temperature compensation. *Journal of Power Sources*. 183(2), 783-791.

Worrell, E., 2011. Barriers to energy efficiency: International case studies on successful barrier removal. Development Policy, statistics and research branch. Source of document. United Nations Industrial Development Organization, 1-19. . <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/250419> August 2016.