

UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE ESTUDIOS EN AMBIENTES VIRTUALES

**INVESTIGACION CORRELACIONAL ENTRE LA APLICACIÓN DE ESTUDIOS
DE TERMOGRAFIA Y LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO EN
MOTORES ELECTRICOS DE UNIDADES DE BOMBEO MECANICO EN CAMPO
VETA.**

AUTOR

DIEGO ALBERTO URIBE AGUILLON

Correo electrónico: duribea70144@universidadean.edu.co

DIRECTOR

ERNESTE OVIEDO RIVERO

BOGOTA, D.C. 02 DE JUNIO DE 2019

Resumen

La investigación a lo largo de la historia nos ha permitido diseñar, innovar, construir y materializar toda clase de soluciones de una problemática particular, pero dicha investigación se ha ido perfeccionando a través de los años permitiéndonos aplicar conocimientos en las diferentes ramas de la ciencia y artes con el fin de sacar nuestro propio beneficio.

El presente documento es realizado bajo los lineamientos de la investigación correlacional por ser el tipo de estudio requerido para obtener los resultados apropiados a nuestra necesidad. Siguiendo cada uno de los parámetros establecidos en el libro; Metodología de la investigación del autor Cesar A. Bernal.

Para Salkind (1998), la investigación correlacional tiene como propósito mostrar o examinar la relación entre variables o resultados de variables¹. Por lo cual el objeto de esta investigación nos permitirá examinar los cambios que sufren los costos de mantenimiento correctivo directamente al realizarse la aplicación de estudios de termografía en los motores del campo.

Introducción

Uno de los centros de costos de mayor capacidad para la operación de un campo petrolero es el mantenimiento de los equipos rotativos, por lo cual toda medida que mitigue de alguna u otra manera la reducción de dichos costos se verán bien vistos para la gestión de mantenimiento y la gerencia global.

A través de los años se han venido invirtiendo cantidades considerables de dinero para el mantenimiento correctivo de los motores eléctricos de las unidades de bombeo mecánico por daño en los rodamientos internos, lo cual ha conllevado a buscar nuevas formas de identificar a tiempo la incidencia de componentes defectuosos al interior del motor con el fin de programar mantenimientos preventivos y evitar futuras fallas en el equipo que generen costos mayores de reparación.

¹ Cesar A. Bernal. 2016. Metodología de la investigación. Cuarta edición. Colombia. PEARSON

De igual manera las afectaciones en la falla de un motor eléctrico sin previo aviso generan pérdidas de producción de crudo en el campo e indirectamente aumentan costos por los recursos requeridos para realizar el cambio por otro.

La investigación planteada nos permitirá tomar decisiones gerenciales dentro de los procesos de mantenimiento la cual serán evaluadas cuantificablemente por la gerencia global.

Para conocer el alcance del estudio se evalúa en los siguientes criterios:

Conveniencia: Se busca establecer un criterio claro y cuantificable para mitigar los costos de mantenimiento correctivo a motores eléctricos por medio de estudio de termografía.

Relevancia social: No existen relación entre la investigación y los efectos sociales.

Implicaciones prácticas: La investigación implica directamente conocer cifras reales sobre costos de mantenimiento correctivo en su historial de hoja de vida de los equipos intervenidos y costos de un estudio de termografía para la población muestreada.

Valor teórico: Es así como nace un plan de acción donde intervienen diferentes filosofías de mantenimiento de nivel mundial como es el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) y anexo a él se encuentran los análisis predictivos como medio para alcanzar el objetivo final.

Utilidad metodológica: La metodología utilizada debido a la necesidad será de investigación correlacional, la cual según Cesar Bernal en su libro metodología de la investigación lo define de la siguiente manera. *“Permite examinar relaciones entre variables o sus resultados, pero en ningún momento explica que una sea la causa de la otra. La correlación examina asociaciones, pero no relaciones causales, donde un cambio en un factor influye directamente en un cambio de otro”*².

² Cesar A. Bernal. 2016. Metodología de la investigación. Cuarta edición. Colombia. PEARSON

Formulación de la pregunta de investigación

Cuál es el grado de correlación entre la aplicación de un estudio de termografía y los costos de mantenimiento correctivo a los motores eléctricos de las unidades de bombeo mecánico en campo Veta.

Campo, grupo y línea de investigación.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente y en base al documento de la universidad EAN que establece los campos, grupos y líneas de investigación³, se puede fijar que esta investigación está clasificada de la siguiente manera:

Grupo: *Gerencia en las grandes, pequeñas, medianas empresas G3Pymes.*

Línea de investigación: *Modernización de organizaciones.*

Categoría: A

Objetivo General

Establecer el grado de correlación entre los costos de mantenimiento correctivo y la aplicación de estudios de termografía en motores eléctricos de unidades de bombeo mecánico en campo Veta.

Objetivos Específicos

- Elaborar un cuadro resumen de los resultados del análisis de termografía para los años 2016, 2017 y 2018.
- Elaborar cuadro donde se relacione costos de mantenimiento correctivo a motores intervenidos en los años 2016, 2017 y 2018.
- Establecer cuadro comparativo de los costos totales de los estudios de termografía realizados por una empresa externa en relación con los costos de mantenimiento correctivo a los motores en los años 2016, 2017 y 2018.
- Establecer grafica de datos donde se relacione número de eventos reportados en el análisis de termografía respecto a cada año de evaluación.

³ Convocatoria para el año 2017 Colciencias.

- Analizar los resultados obtenidos en un documento final con relaciones de costo / Beneficio.
- Establecer cuantitativamente el grado de correlación que existe entre los costos de mantenimiento correctivo y la aplicación del estudio de termografía a los motores eléctricos de las unidades de bombeo mecánico.

Marco Teórico.

El estudio actual será una escala para identificar y cuantificar el beneficio que implica implementar el análisis de termografía a los motores eléctricos como un modelo de estudios predictivos que para la industria petrolera al año 2019 se considera determinante.

La implementación de nuevas filosofías de mantenimiento viene encaminadas a obtener mejores resultados en la gerencia de mantenimiento de toda organización, por lo cual ya están establecidas dichas herramientas, pero el proceso de implementación genera una serie de recursos ligados directamente a inversión económica en capacitación, implementación y compra de equipos que si bien son comprados con un fin claro al final son necesarios para aumentar la confiabilidad en cada sistema intervenido.

Es así como hoy se puede hablar del mantenimiento centrado en confiabilidad – RCM por sus siglas en inglés (*Reliability Centered Maintenance*⁴), que es una metodología de talla mundial aplicada a organizaciones de todas las industrias donde se tengan equipos mecánicos y eléctricos.

Nuestra investigación nos permitirá concluir como implementar un pequeño grano de la metodología RCM nos afectará directamente los costos de mantenimiento correctivo a los motores eléctricos de las unidades de bombeo mecánico del campo.

⁴ Mantenimiento petroquímica. Recuperado de: <http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>. 16 de abril de 2019.

Definición de variables.

Para la investigación correlacional no hay variables dependientes e independientes, puesto que no hay manipulación de variables. Por lo cual a continuación relaciono las variables a investigar.

1. Costos de mantenimiento correctivo a motores eléctricos de las unidades de bombeo mecánico de campo Veta.
2. Aplicación de estudio de termografía a motores eléctricos de las unidades de bombeo mecánico de campo Veta.

Definición conceptual.

VARIABLES OBJETO DE INVESTIGACIÓN:

1. Costos de mantenimiento correctivo a motores eléctricos de las unidades de bombeo mecánico de campo Veta: Es la cuantificación de todos los recursos económicos que se requieren para suplir una actividad correctiva en los motores eléctricos del campo⁵.
2. Aplicación de estudio de termografía a motores eléctricos de las unidades de bombeo mecánico de campo Veta: Es el estudio realizado por un ente externo individualmente a los motores donde se realiza verificación termografía a la totalidad del equipo en operación⁶.

Definición operacional.

Las Variables objeto de investigación serán medibles cuantitativamente por medio del reporte de falla de los motores eléctricos la cual género en su momento y actualmente la ejecución de un mantenimiento correctivo no presupuestado pero que debe ejecutarse para recuperar la vida útil de mismo. A raíz de suplir dicha necesidad se genera una orden de servicio a un contratista la cual resume los costos totales de la reparación.

⁵ Mantenimiento de motores eléctricos. Un rol que adquiere protagonismo en operaciones industriales. Recuperado de: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2254>. 28 de mayo de 2019.

⁶ Termografía en motores electricos. Recuperado de: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2762&srch=mantenimiento&act=3>. 29 de mayo de 2019.

Por otro lado, se realizara la recopilación de los resultados de los análisis de termografía que son realizados por un ente externo a la organización para verificar su evolución en el número de reportes año tras año para finalmente comparar el costo de estos estudios con los costos de los mantenimientos correctivos.

Metodología

El tipo de investigación para este estudio será correlacional ya que no se podrá realizar manipulación de las variables o efectos de causa de variables que nos permitan realizar un estudio experimental⁷.

Instrumentos para recolección de información.

Las variables de investigación serán medibles teniendo en cuenta los siguientes documentos como conceptos de confiabilidad, además de contener la información suficiente para ser conceptos de validez.

1. Recopilación de los costos por orden de prestación de servicio (OPS) para ejecución de mantenimiento correctivo a los motores eléctricos intervenidos en los años 2016, 2017 y 2018 (Ver tabla N.1 Costo de Mantenimiento correctivo a motores eléctricos de Campo Veta).

Tabla N.1 Costo de Mantenimiento correctivo a motores eléctricos de Campo Veta

COSTO MANTENIMIENTO CORRECTIVO MOTORES ELECTRICOS DE CAMPO VETA		
AÑO	Número de equipos intervenidos	Costo total de OPS [COP]
2016	18	\$ 49.823.000
2017	7	\$ 21.577.025
2018	2	\$ 7.461.800

⁷ Cesar A. Bernal. 2016. Metodología de la investigación. Cuarta edición. Colombia. PEARSON

2. Resumen de los estudios de termografía donde se resuman los motores reportados por anomalías en los años 2016, 2017 y 2018 (Ver Anexo 1, 2, 3 - Reporte del tipo de anomalías por estudio de termografía).
3. Recopilación de los costos por contrato del estudio de termografía a los motores de las unidades de bombeo mecánico del campo en los años 2016, 2017 y 2018, con especificación de costo individual de estudio por motor. (Ver Tabla N.2 Costo de estudio de termografía a motores eléctricos de Campo Veta).

Tabla N.2 Costo de estudio de termografía a motores eléctricos de Campo Veta

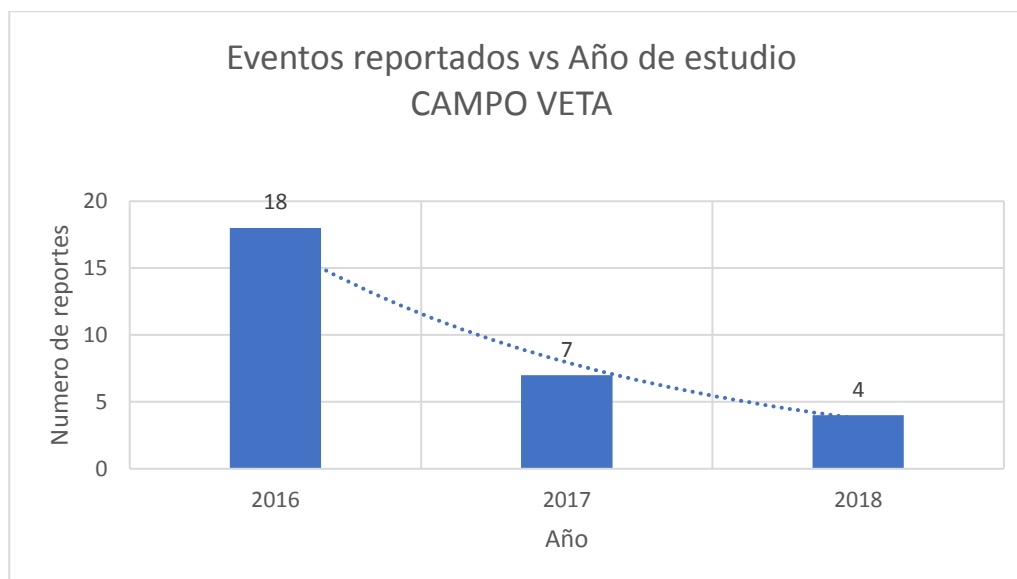
COSTO ESTUDIO DE TERMOGRAFIA A MOTORES ELECTRICOS DE CAMPO VETA				
AÑO	Número de equipos estudiados	Costo por motor estudiado [COP]	Costo total del estudio [COP]	Costo total Mantenimiento correctivo [COP]
2016	70	\$ 45.000	\$ 3.150.000	\$ 49.823.000
2017	115	\$ 38.500	\$ 4.427.500	\$ 21.577.025
2018	172	\$ 30.000	\$ 5.160.000	\$ 7.461.800

4. Recopilación en tabla del numero de reportes de anomalías del estudio de termografía a los motores eléctricos en los años 2016, 2017 y 2018 (Ver Tabla N.3 Reporte de numero de anomalías por estudio de termografía).

Tabla N.3 Reporte de numero de anomalías por estudio de termografía.

REPORTE DE ANOMALIAS ESTUDIO DE TERMOGRAFIA A MOTORES ELECTRICOS DE CAMPO VETA		
AÑO	Número de equipos estudiados	Número de eventos reportadas
2016	70	18
2017	115	7
2018	172	4

Con los datos relacionados anteriormente se estableció grafica de barras para visualizar la evolución de los números de reportes en cada uno de los años del estudio (Ver Grafica N.1 Eventos reportados vs Año de estudio).

Grafica N.1 Eventos reportados vs Año de estudio

Población y muestra.

Partiendo con el hecho que se cuenta con el estudio de termografía de los motores eléctricos de las unidades de bombeo mecánico entregado por la entidad externa y consolidado en los archivos anexos 1, 2, 3, la población a medir son 172 motores de 40, 50 y 60 [HP], el cual será verificable con los resultados individuales del estudio realizado en los años 2016, 2017 y 2018.

Por otro lado, debido a que cada uno de estos motores tienen equipo capital se obtiene información de los costos asociados por cada uno de ellos, lo cual nos permitirá evaluar la población total de motores del campo, la cual fue consolidada por los costos en la Tabla N.1 Costo de Mantenimiento correctivo a motores eléctricos de Campo Veta.

Procedimiento.

Para establecer las tablas publicadas anteriormente se debió recopilar información de los departamentos contables de la organización donde se consolidó y verificó cada una de las ordenes de prestación (OPS) ejecutadas a los motores eléctricos que fueron intervenidos para ejecutar un mantenimiento correctivo, siendo de aclarar que toda

actividad correctiva a los motores eléctricos del campo es ejecutada por una entidad externa ya que no se cuenta con los recursos tecnológicos para corregirla (Información contenida en la Tabla N.1 Costo de Mantenimiento correctivo a motores eléctricos de Campo Veta).

En la segunda parte se verifico los contratos que en cada año se ejecutaron para realizar el estudio de termografía por una entidad certificada para dicho fin, siendo que debido a ser una practica nueva para en campo y todas las personas que intervinieron se comenzó el estudio con una muestra pequeña de 70 motores para el primer año y logrando la totalidad de los motores de las unidades de bombeo mecánico para el tercer año, con una totalidad de 172 unidades (Información contenida en la Tabla N.2 Costo de estudio de termografía a motores eléctricos de Campo Veta), agregando a esta tabla la columna del costo total de mantenimiento correctivo establecida en la tabla N.1.

Una vez recopilada la información base para estructurar la investigación y establecer el grado de correlación se configuro la Tabla N.4 que establece el numero de motores a los que se le realizo el estudio de termografía y los costos de mantenimiento correctivo ejecutado a los motores eléctricos para cada uno de los años en los que el estudio ha sido realizado. Aplicando finalmente regresión lineal para establecer el coeficiente de relación de la investigación.

Resultados.

Se utiliza el análisis de regresión lineal por lo cual se aplica el método de mínimos cuadrados⁸, para establecer la ecuación de la recta que represente el comportamiento de las variables de estudio.

Tabla N.4 Numero de motores estudiados y costos de mantenimiento correctivo.

AÑO	Número de equipos estudiados	Costo total Mantenimiento correctivo [COP]
2016	70	\$ 49.823.000
2017	115	\$ 21.577.025
2018	172	\$ 7.461.800

⁸ Cesar A. Bernal. 2016. Metodología de la investigación. Cuarta edición. Colombia. PEARSON

Se Debe tener en cuenta que para esta investigación no se tuvo en consideración el costo de los contratos para el estudio de termografía en los motores, ya que el centro de costos es diferente al centro de costos para las actividades de mantenimiento.

Se establece la siguiente tabla para aplicar ecuación de mínimos cuadrados.

AÑO	X	Y	X ²	XY	Y ²
2016	70	49823000	4900	3487610000	2482331329000000
2017	115	21577025	13225	2481357875	465568007850625
2018	172	7461800	29584	1283429600	55678459240000
n = 3	357	78861825	47709	7252397475	3,00358E+15

Se reemplazan los datos en la ecuación de mínimos cuadrados y se obtiene la ecuación de la regresión lineal⁹: $Y = a + bx$

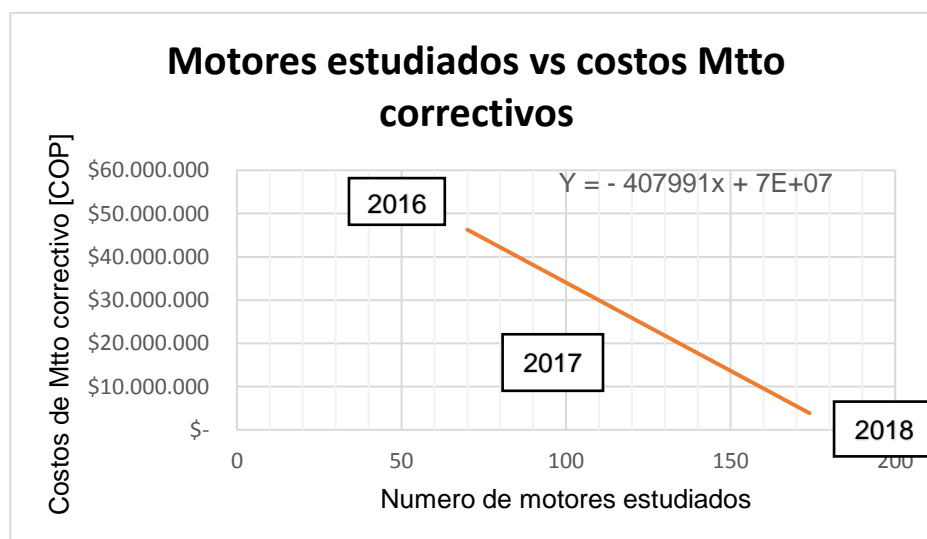
$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{(n)(\sum x^2) - (\sum x)^2} = \frac{(78861825)(47709) - (357)(7252397475)}{(3)(47709) - (357)^2}$$

$$a = 74838175,17$$

$$b = \frac{(n)(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{(n)(\sum x^2) - (\sum x)^2} = \frac{(3)(7252397475) - (357)(78861825)}{(3)(47709) - (357)^2}$$

$$b = -407990,78$$

Regresión lineal $Y = 74838175,17 - 407990,78 x$



⁹ Cesar A. Bernal. 2016. Metodología de la investigación. Cuarta edición. Colombia. PEARSON

Como se puede observar en la gráfica de la ecuación obtenida de la regresión lineal se encuentra una relación directa negativa, a medida que aumenta el número de motores estudiados termográficamente disminuye el costo de mantenimiento correctivo a los motores.

Para medir el coeficiente de relación (r) se debe aplicar la siguiente fórmula¹⁰:

$$r = \frac{(n)(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[(n)(\sum x^2) - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

$$r = \frac{(3)(7252397475) - (357)(78861825)}{\sqrt{[(3)(47709) - (357)^2][(3)(3,00358E + 15) - (78861825)^2]}} = \frac{-6396479100}{\sqrt{(15678)(2.79E + 15)}}$$

$$r = -0,966881532$$

Como el valor de r calculado ($-0,967$) es negativo, significa que la relación entre el número de motores con estudio de termografía y los costos de mantenimiento correctivo es inverso; Mientras aumenta el número de motores estudiados disminuyen los costos de mantenimiento correctivo. De igual manera el valor absoluto hallado de r es muy cercano a 1, lo que significa que existe una relación estrecha entre el número de motores con estudio de termografía y los costos de mantenimiento correctivo.

Conclusiones y Discusión.

Como bien se puede verificar, esta investigación permitió establecer unos lineamientos básicos y avanzados que lograron dar respuesta a la pregunta formulada en el documento como centro de justificación para este artículo.

Se inició desde una hipótesis la cual fue formulada y estructurada desde información confidencial de la organización, pero la cual fue suministrada por parte del departamento financiero a fines de encontrar una relación que permitiera darle razón a la inversión en los costos asumidos para los contratos de los estudios de termografía por empresas externas a la organización administradora del campo.

¹⁰ Cesar A. Bernal. 2016. Metodología de la investigación. Cuarta edición. Colombia. PEARSON

Esta investigación permite reafirmar los beneficios obtenidos medidos en costos de presupuesto y disponibilidad del equipo aumentando discretamente la confiabilidad del mismo y del sistema con el simple hecho de implementar el estudio de termografía el cual tendrá un costo mucho menor en relación a un mantenimiento correctivo generado por deficiencia en lubricación, puntos calientes o deterioro en los componentes de rodamientos del motor. Por otro lado encontramos que este artículo sirve de sustento para presentar estrategias de mantenimiento a la gerencia global la cual permiten establecer de forma puntual los beneficios obtenidos directamente por la aplicación de los estudios de termografía que son una de las herramientas del mantenimiento predictivo¹¹ en alas de la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad – RCM por sus siglas en inglés (*Reliability Centered Maintenance*¹²).

Ahora bien, como se estableció en los resultados, el coeficiente de relación nos dio ($r = -0,966881532$), lo cual refleja que tienen una relación inversa las dos variables de estudio; Mientras más se aumente el número de motores estudiados por termografía menor serán los costos directos y asociados por los mantenimientos correctivos a los mismos. Por otro lado, se concluye que debido a que el valor absoluto del coeficiente al ser tan cercano a 1 nos muestra que existe una relación estrecha entre las dos variables, lo que confirma que entre las variables de estudio existe un lazo muy corto y bastante sensible, el cual hace que una variable afecte directamente a la otra.

Por último, se puede decir que la investigación fue todo un éxito, ya que independiente del grado de correlación que es muy significativo también nos da fundamentos para generar informes de alto valor que ayudaran a tomar decisiones a corto y mediano plazo, los cuales hasta antes de este artículo no se habían podido cuantificar.

¹¹ Reability Web. Impacto de mantenimiento predictivo en motores eléctricos . Recuperado de: <https://reabilityweb.com/sp/articles/entry/impacto-del-mantenimiento-predictivo-de-motores-electricos-dc> 31 de Mayo de 2019.

¹² Valbor Soluciones. Implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM. Recuperado de: <https://www.valborsoluciones.com/mantenimiento/implementacion-del-rcm/> 01 de Junio de 2019.

Referencias.

- Cesar A. Bernal. 2016. Metodología de la investigación. Cuarta edición. Colombia. PEARSON.
- Renovetec. Recuperado de: <http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/26-articulos-destacados/19-mantenimiento-predictivo>. 12 de abril de 2019.
- Mantenimiento petroquímica. Recuperado de: <http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>. 16 de abril de 2019.
- Termo Gram, Recuperado de: <https://termogram.com/termografia-infrarroja-para-mantenimiento-predictivo>.
- FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo. Guía de usos de cámara termografías en aplicaciones industriales. 2011.
- Olarte C. William; Botero A. Marcela. La detección de ultrasonido: Una técnica empleada en el mantenimiento predictivo. Universidad tecnológica de Pereira. 2011.
- Borrego, M. (2009). *Dossier de Metodología de la Investigación*. Argentina.