



GRADO EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO ACADÉMICO 2017 – 2018

TÍTULO: El control de costes de mano de obra de la producción de empresas industriales por pedido, basado en la empresa industrial Aguilar y Salas Brasil.

AUTOR: Carlos Martínez Domínguez

TUTOR: D. José Enrique Romero García

DEPARTAMENTO: Economía Aplicada I

ÁREA DE CONOCIMIENTO: Métodos cuantitativos

RESUMEN: El presente trabajo pretende analizar los costes en la mano de obra de la producción, como parte significativa para el aumento de la productividad y eficiencia durante el proceso de fabricación. Se desarrolla una investigación con el objetivo de estudiar y aplicar el modelo para optimización de costes de la empresa Aguilar y Salas Brasil Ltda, calderería especializada en ingeniería mecánica de equipos y fabricación con metales especiales. Para ello, fue realizado un estudio basado en los siguientes métodos cuantitativos: herramientas estadísticas descriptivas, regresión lineal, aplicación del valor esperado y método de mínimos cuadrados.

PALABRAS CLAVE: Costes, Producción, Métodos cuantitativos, productividad, eficiencia.

ÍNDICE

Introducción.....	Páginas 3 a 13
Revisión bibliográfica y cuerpo teórico.....	Páginas 13 y 14
Metodología de análisis.....	Página 14
Resultados del análisis.....	Páginas 14 a 36
Conclusiones.....	Páginas 37
Referencias bibliográficas.....	Páginas 38 y 39

1 Introducción

Las empresas con fines lucrativos necesitan tener un retorno financiero suficiente que permita que las mismas se sustenten y continúen operando en el mercado. Para eso, es necesario hacer una buena gestión de los ingresos, maximizándolos, y de los costes, minimizándolos. Centrando el presente trabajo en la reducción de costes de producción, como parte significativa para el éxito de los negocios, se desarrolla una investigación con el objetivo de estudiar y aplicar el modelo para optimización de costes de la empresa Aguilar y Salas Brasil Ltda. Para ello, fue realizado un estudio basado en los siguientes métodos cuantitativos: herramientas estadísticas descriptivas, regresión lineal, aplicación del valor esperado y método de mínimos cuadrados. Los objetivos específicos del presente estudio son los siguientes:

- Comprobar los costes que mayor impacto tienen en el sector de producción.
- Realizar un modelo de previsión para el coste que más pesa en el presupuesto.
- A través del modelo y con base en el mismo, hacer un análisis y determinar alternativas estratégicas a ser aplicadas por la empresa para reducir de modo significativos los costes.

Los métodos cuantitativos son herramientas de extrema importancia para el mercado, teniendo innumerables aplicaciones, entre ellas: optimización de costes, análisis de inversiones, seguimiento de negocios, modelos para estimar lucros. Por tanto, es necesario realizar un estudio detallado para aplicarlos de la mejor forma posible, siendo éste nuestro objetivo en el desarrollo del trabajo.

Los datos para el estudio serán obtenidos de la empresa Aguilar y Salas Brasil Ltda. La misma, forma parte de un grupo español de 65 años con presencia fabril en España, Brasil y Marruecos destinada a la ingeniería mecánica y producción de equipos estáticos metalmecánicos para refinerías, industria química, petroquímica, alimenticia o celulosa.

En Aguilar y Salas la producción se realiza por pedido, por lo que el estudio de los costes se realiza a través de cada contrato de forma individualizada. Como los materiales, espesuras y demás componentes no se asemejan de un proyecto para otro, trabajamos con stock mínimo de consumibles. Por este motivo, el control de costes lo realizamos por cada orden de fabricación.

Para tratar de optimizar los costes es necesario, inicialmente, realizar un análisis del comportamiento de los mismos y para ello, debemos describirlos estadísticamente. Siendo así, fueron utilizadas las llamadas herramientas descriptivas con la finalidad de guiar las conclusiones a ser obtenidas para disminuir gastos y aplicarlos de la mejor forma posible. A continuación, se especifica cada una de las herramientas y se explica con detalle qué es la optimización de costes y el porqué de las herramientas obtenidas.

1.1. Herramientas estadísticas descriptivas

Las herramientas estadísticas descriptivas son usadas para verificar el comportamiento de los datos obtenidos, de modo a resumir las informaciones extraídas que permitan tomar decisiones.

GUEDES y otros autores (2005) relataban en su trabajo sobre Estadística Descriptiva que la misma tiene el objetivo de resumir valores de la naturaleza, de modo a transmitir una visión general de la diferencia entre esos valores, pudiendo agruparlos de tres formas: tablas, gráficos e formas descriptivas. Entre los conceptos estudiados en el trabajo de GUEDES, pueden destacarse algunos importantes para realización de este trabajo.

- Medidas Descriptivas: Media, mediana, moda, varianza, desviaciones y coeficiente de variación
- Diagrama de Pareto

1.1.1 Medidas Descriptivas

1.1.1.1 Media

La media aritmética es la medida resultante de la razón entre la suma de todos los valores observados de la variable dividida por el número total de observaciones. Matemáticamente, se tiene la ecuación 6, que muestra la fórmula del cálculo del promedio:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Esta medida tiende a representar la muestra de la población de manera central. La media de la muestra tiende a representar la media de la población.

1.1.1.2 Moda

La moda, representada por M_o es obtenida por la medida que tiene mayor frecuencia en la muestra o en la población. En el caso de datos en distribución de frecuencia para calcular la moda se utiliza la clase donde se tiene la mayor frecuencia absoluta o relativa y se aplica la fórmula mostrada en la Figura 03:

$$M_o = l_i + \frac{h(F_i - F_{i-1})}{(F_i - F_{i-1}) + (F_i - F_{i+1})}$$

Figura 03- Cálculo de la moda en distribución de frecuencias

Fuente: http://www.each.usp.br/rvicente/Guedes_etal_Estatistica_Descriptiva.pdf

1.1.1.3 Mediana

Así como la media, también tiene tendencia a representar los datos de forma central, siendo que en ese caso se obtiene la mediana (Md) determinando la medida central de los datos. Para obtener su valor, ordena los datos en orden ascendente y:

- Cuando el número de datos (N) es impar, la mediana corresponde al valor de orden $(N + 1) / 2$;
- Cuando el número de datos (N) es par, la mediana corresponde a la media aritmética entre el valor de orden $N / 2$ y el valor de orden $N / 2 + 1$.

1.1.1.4 Varianza y Desviación estándar

Para tener una idea de cómo están la dispersión de los datos, se utilizan las herramientas varianza y desviación estándar. Para obtener los valores de la varianza se tienen las siguientes fórmulas que se muestran en la Figura 4:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N} \quad \text{ou} \quad S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

Figura 04- Fórmulas de la varianza

Donde la desviación estándar se obtiene extrayendo la raíz cuadrada de las fórmulas; la ecuación de la izquierda representa la varianza de la población y la de la derecha la varianza de la muestra. Es evidente que el término N y N-1 diferencia las dos fórmulas, ya que para la desviación estándar y la varianza de la muestra representan la población, es necesario hacer el cálculo con el término "N-1". Es importante resaltar que si dos poblaciones poseen la misma media, pero las desviaciones estándar son diferentes, puede significar que las poblaciones tienen el mismo comportamiento.

1.1.1.5 Coeficiente de Variación

Se obtiene por la razón entre la desviación estándar y la media como muestra la ecuación 7:

$$CV = (s/x) * 100\% \text{ (ecuación 7)}$$

Donde "x" representa la media y "s" la desviación estándar. Con ese coeficiente, podemos tener una idea de cómo los datos están dispersos en relación a la media, de manera porcentual que ayuda a visualizar mejor.

Como podemos ver con todas las herramientas descriptivas se tiene una noción general y bien exploratoria de cómo los datos se comportan. En ese caso, las herramientas ayudarán a describir cómo los costes del sector.

En el sector metalmeccánico, el control de costes es fundamental puesto que, debido a la crisis económica por la que atraviesa Brasil y el aumento de la competencia internacional en el diseño y fabricación de equipos metalmeccánicos de alta complejidad, se trabaja en unos márgenes de lucro que no superan el 6%.

Los costes principales de las órdenes de fabricación de la empresa están compuestos por cuatro tipos de coste, ordenados por importancia cuantitativa: costes de compra de materias primas, comprados en un 80% en el exterior, por eso están sumados a estos costes los impuestos a la importación, los costes de producción, valorados en horas de trabajo asignadas a cada proyecto. La hora de trabajo es vendida a 90 reales y, el coste real de la mano de obra directa es de 60 reales por hora. La diferencia es lo que permite pagar los costes de estructuras, incluido el coste de personal indirecto. El tercer coste sería el coste de calidad, donde se incluyen todas las pruebas de los equipos, las radiografías de las soldaduras, pruebas dimensionales, inspección de materiales, etc. Estos costes de calidad se estiman por un valor del 3% por cada uno de los contratos. El cuarto y último coste corresponde a varios costes que, siendo menores que los anteriores, también tienen un peso importante en nuestro presupuesto. Estos son los costes financieros (emisión de cartas de garantías bancarias, costes de anticipación de facturas, etc.), los costes de transporte (dependiendo del *incoterm* establecido en el contrato, a veces el transporte es por nuestra cuenta. Estos costes son muy variables y pueden ir entre 1000 euros si vendemos para la propia región, hasta 200.000 euros cuando la venta es internacional. Estos servicios los externalizamos con empresas especializadas en transportes de mercancías especiales de alto volumen) y, finalmente, los costes de externalización de servicios en los que incluimos principalmente la pintura de los equipos.

1.1.1.6 Diagrama de Pareto

Como herramienta no únicamente estadística, sino también de calidad, el diagrama de Pareto es un tipo de gráfico de columnas o líneas especiales, que ordena de modo decreciente el efecto de cada variables sobre un determinado fenómeno, BARBOSA (2009), en un artículo, utilizó el gráfico como herramienta importante para determinar qué aspectos tenían un mayor impacto en la recuperación del aceite pesado, que era uno de los objetivos del estudio. Se planteó que por el diagrama de Pareto se pueden ver qué parámetros o qué interacciones entre ellos tiene mayor efecto en un determinado factor o variable que está siendo considerado. La figura 5 representa un ejemplo del gráfico de Pareto:

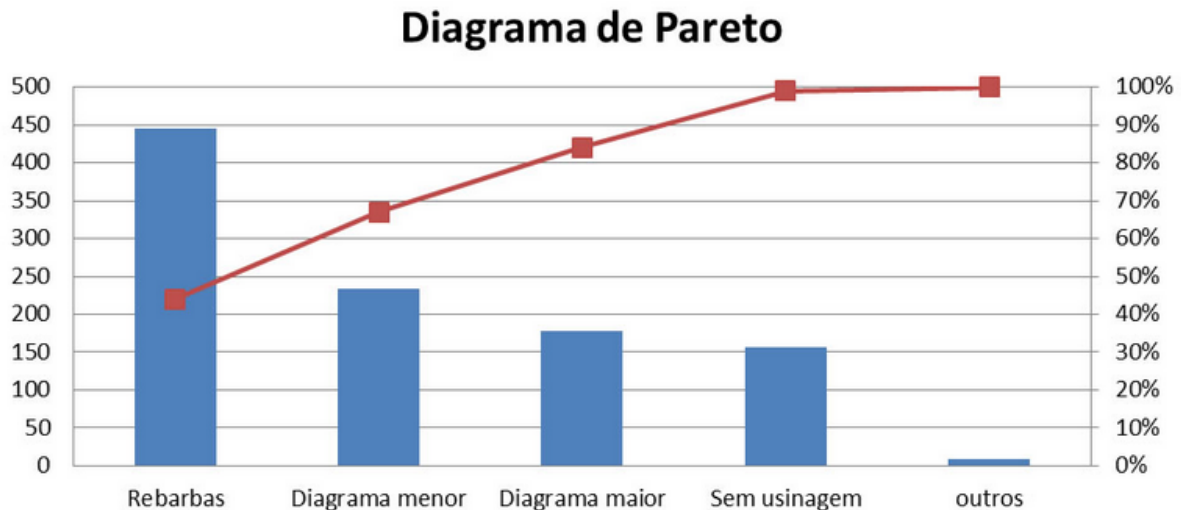


Figura 5 – Ejemplo de Gráfico de Pareto

Como podemos ver en la figura 5, puede representarse por columnas y, con ello, obtener una mejor visualización de cuál es el parámetro que mayor impacto tiene en el estudio. En el trabajo realizado sobre la empresa Aguilar y Salas, esa herramienta es crucial para verificar cuales son los costes que más impactan en el presupuesto.

1.2 Aplicación del valor esperado

Se trata de una herramienta muy utilizada para orientar inversiones, el valor esperado es muy importante para la gestión de costes. Consiste en determinar el retorno que se espera de un determinado valor invertido, evaluando los riesgos, para orientar qué decisiones se tomarán. Para servir de referencia para el estudio de optimización de Aguilar y Salas, se considera la secuencia en la cual BERTOLO (2018) retrató el valor esperado, para comprenderlo y aplicarlo: modelo de previsión; riesgos variables; distribución de probabilidad; variables correlacionadas; prueba de simulación; análisis de los resultados.

Como una herramienta bastante utilizada para orientar inversiones, el valor esperado es muy importante para la gestión de costes. Consiste en determinar o esperar el retorno de un cierto valor invertido, evaluando los riesgos, a fin de orientar qué decisiones se tomarán.

1.2.1 Modelo de previsión

Para prever el comportamiento del mercado, los modelos matemáticos son redactados, con intención de reproducir y realizar estimativas sobre las variables relacionadas a las inversiones. De este modo para tener un buen modelo, es imprescindible hacer un análisis de riesgo sobre los factores externos que pueden interferir en cada inversión realizada.

Siendo así, un modelo simple sería establecer la diferencia entre variables de coste y beneficio, buscando la relación entre ellas. Para ajustar el modelo, se seleccionan variables que realmente representaron mejor la realidad y que, por tanto, son más relevantes para el estudio. Las figuras 5 y 6 representan, respectivamente, el modelo de modo básico y otro, de previsión más compleja.

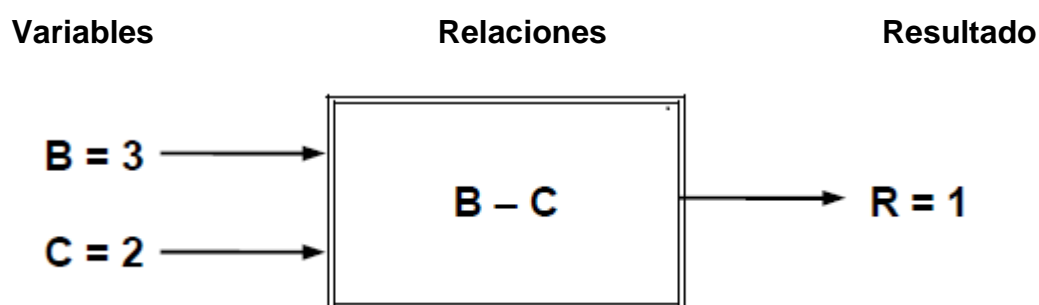


FIGURA 05- Modelo simples –resultado entre beneficios y costes

	Euros	Variables de riesgo
Precio de venta	12	<-- V1
Volumen de venta	100	<-- V2
Entradas de caja	1.200	
Materiales	300	
Salarios	400	
Gastos	200	
Salidas de caja	900	
Flujo de caja Líquido	300	
Hipótesis relevantes		
Coste por unidad de material	3	<-- V4
Salario por unidad	4	

FIGURA 06- Modelo de evaluación de variables de riesgo

Como se puede observar, después del análisis de factores que interfieren en la diferencia entre ingresos y costes, se van introduciendo variables y se van creando relaciones y funciones matemática para intentar explicar lo que está ocurriendo en el mercado. En las próximas etapas, se ve el análisis (riesgos, distribución de probabilidad), la introducción de parámetros (variables correlacionadas) y el modelo de test (probar y analizar los resultados), para que el análisis proporcione más confianza y consiga prever lo que puede ocurrir de modo a reaccionar de forma proactiva.

1.2.2 Riesgos variables

Las variables de riesgo, como muestra la figura 6, son aquellas que pueden provocar alteraciones significativas con modificaciones en su valor, o sea, pueden generar imprevistos o situaciones indeseadas de costes. Siendo así, es importante hacer un estudio de los factores externos que pueden influir en las variaciones de costes. Dos análisis importantes, en ese caso son: análisis de la sensibilidad y de la incerteza.

Como el propio nombre indica, en el análisis de la sensibilidad se seleccionan las variables que más cambios pueden provocar en el valor de determinados factores, sea en términos absolutos o relativos. Siendo así, es importante conocer bien el escenario y recoger informaciones concretas y precisas, para que se consigan verificar los valores correctos y calcular el efecto de cada variable sobre los costes y, así, escoger aquellas que realmente sean críticas. Ya el análisis de incerteza consiste en verificar cual es la imprecisión en el cálculo o en la mediación de la variable a ser estudiada y utilizada, de modo que se pueda comprobar si ello afectará significativamente a los resultados y, una vez más, escoger los parámetros que podrán servir mejor de base al estudio.

1.2.3 Distribución de probabilidad

Para verificar cuales son los valores más altos y más bajos que una determinada variable de riesgo puede asumir, se usan las distribuciones de probabilidad. Ellas ayudan en la observación del comportamiento de las variables para conseguir saber cuál es el valor más probable para el parámetro a ser estudiado. La Figura 07 ilustra diferentes distribuciones de probabilidades, mostrando que existen varios comportamientos posibles de diferentes tipos:

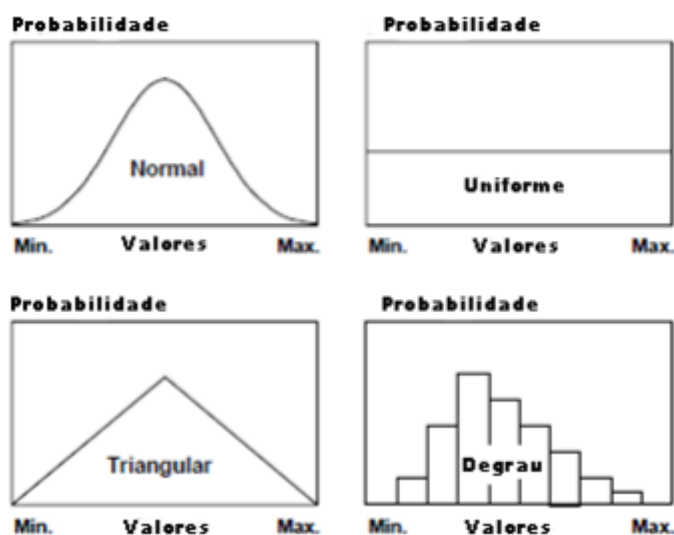


Figura 07- Distribuciones de probabilidades – tipos

Como se puede ver, es posible realizar el cálculo del riesgo de una variable en un valor determinado, con base en su probabilidad que es obtenida por la distribución que ella asume.

1.2.4 Variables correlacionadas

Algunas variables pueden interferir directamente o indirectamente en el comportamiento del fenómeno estudiado. Tratándose de optimización de costes, pueden verificarse los factores que intervienen en los resultados obtenidos y comprobarse la correlación que existe, o no, entre ellas.

Después de comprobar cuáles son esas variables, es posible aplicar el estudio de la regresión lineal, como será estudiado en el tópico 1.3.

1.2.5 Probar el estudio

En el caso del modelo, el siguiente paso es probar el estudio, donde se obtienen los valores calculados por el mismo, de modo que se compara con los valores reales obtenidos por el experimento, pudiéndose realizar gráficos que auxilian a visualizar si el modelo fue bien empleado: gráfico de paridad, en el cual uno de los ejes tiene los valores experimentales y el otro es el valor calculado, colocando uno en función del otro y se compara con la "situación ideal", que se refiere a la recta $y = x$ (bisectriz del primero y tercero cuadrantes); y el otro es el gráfico del error, en el cual se verifica el error versus los valores obtenidos por el modelo, en el cual lo ideal es que el error sea cero.

Para verificar si el modelo es bueno, los puntos de los gráficos deben estar próximos aleatoriamente de lo que se desea, es decir, recta $y = x$ en el caso del gráfico de paridad y eje x ($y = 0$) en el gráfico de error.

En el caso de regresiones lineales, como se aborda en el apartado 1.3, el indicador de buen modelo se refiere a cuando el coeficiente de correlación es cercano a 1, lo que indica que hay alta evidencia de linealidad entre la variable dependiente (y) variable independiente (x).

1.2.6 Análisis de los resultados

Con los resultados obtenidos en la etapa anterior, podemos comprobar si el modelo es representativo o no y ajustar el modelo para mejorar los resultados. Además, con estas conclusiones se puede verificar si más experimentos son necesarios y cuáles son las limitaciones del modelo (lo que puede o no calcular).

1.3 Regresión Lineal y Método de los mínimos cuadráticos

El análisis de regresión se realiza sobre dos variables (x e y), de modo que se tenga un referencial teórico que procure verificar si hay alguna relación matemática de causalidad, como muestra la Figura 8:

$$y = f(x)$$

↑ Variable dependiente ↑ Variable independiente

Figura 08- Relación entre X e Y

Fuente: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1479289/mod_resource/content/0/regr_lin.pdf

El objetivo de la regresión lineal es transformar la relación entre “x” e “y” en una ecuación de primer grado $y = a + bx$ y luego buscar los parámetros "a" y "b" del modo que mejor represente y luego comparar los valores estimados con los valores obtenidos.

La regresión lineal ha sido utilizada en el estudio de la empresa Aguilar y Salas para verificar la correlación de cada fuente de coste con el aumento del mismo.

Para comprender la regresión lineal es necesario antes entender el concepto de métodos mínimos cuadrados. Cuando se trata de modelos y de ajustarlos de la mejor manera a los datos experimentales, el método de los mínimos cuadrados (MMQ) es una importante herramienta para utilizar en ese sentido. El mismo consiste en hacer lineal la ecuación propuesta para el modelo y determinar los parámetros que lo hacen más representativo, donde éstos se calculan, minimizando los cuadrados de las diferencias entre el valor obtenido por la función matemática establecida por el modelo y el valor real. HELENE (2014) explicó ejemplos de aplicación, donde propuso funciones de diferentes tipos, según el caso. Dependiendo del tipo de función, hizo el cálculo usando el razonamiento del MMQ y obtuvo el modelo que mejor se ajusta a los problemas propuestos. La idea de minimizar los cuadrados de las diferencias se explica por el siguiente hecho: se busca que la ecuación del modelo calcule valores más cercanos a los reales, lo que significaría minimizar apenas las diferencias; y después, sumar esas diferencias.

De forma genérica, puede considerarse el caso de una función de tipo $y=ax+b$, de la cual “x” es la variable independiente e “y” la variable dependiente, conforme vimos en la figura 08. Partiendo de esa relación simple puede calcularse, utilizando el razonamiento de MMQ, cuales son los valores de a y b conforme puede observarse en las ecuaciones:

Ecuación 8

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)]^2$$

Para que el mínimo exista es necesario que:

$$\frac{\partial}{\partial a} \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)]^2 = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)(-x_i) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial b} \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)]^2 = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)(-1) = 0.$$

Estas ecuaciones, (Ecuaciones 9 y 10) pueden ser simplificadas de la siguiente forma:

$$a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i + b \cdot n = \sum_{i=1}^n y_i$$

Ecuaciones 11 y 12. Las que se suelen llamar ecuaciones normales y cuya solución es:

$$a = \frac{n \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad e$$

$$b = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)}{n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

Ecuaciones 12 y 13.

Como se puede ver, aplicando el mismo razonamiento obtenido por las ecuaciones 8 a 13, pueden colocarse los parámetros (a y b) extendiéndose para los polinomios de grado n o combinación lineal de funciones, donde lineamos y calculamos sus parámetros.

Con las siguientes ecuaciones de regresión podemos calcular el coeficiente de determinación. Básicamente, el coeficiente indica cuanto fue capaz el modelo de explicar los datos recogidos. Viene dado por la expresión:

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} = 1 - \frac{SQE}{SQT} = \frac{\hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) Y_i}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2},$$

Ecuación 14

O sea, es la razón entre la suma de los cuadrados de la regresión y la suma de los cuadrados totales. En el modelo con intercepto podemos escribir:

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) Y_i}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) Y_i \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) Y_i}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) Y_i \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Ecuación 15

Podemos, por tanto, calcular el coeficiente de correlación R^2 , que es el indicador de cuál es la linealidad. Cuanto más próximo de 1 sea, mejor es la evidencia de relación lineal entre y e x .

2 Revisión bibliográfica y cuerpo teórico

2.1 Optimización de costes

En tiempos de crisis económica y financiera es crítica la eficacia y eficiencia de inversiones y costes y eso motiva muchos estudios sobre el desarrollo modelos de optimización de gastos. En ese sentido podemos ver el artículo de VIANA & RIBEIRO (2017), construye un plan director de mantenimiento para una empresa de minería. A pesar de no retratar directamente la optimización de costes, uno de los objetivos era la reducción de gastos, el cual alcanzó una marca de 13% de disminución de costes en el presupuesto de mantenimiento.

En ese mismo sentido de reducción de costes, se analiza el estudio realizado por SILVEIRA&SILVEIRA (2017), los cuales hicieron uso de una programación lineal direccionada a optimizar los costes referentes a transportes de carga por carretera. Con eso, consiguieron hacer el análisis de los parámetros que afectaban a los gastos de transporte y comprobaron cuales son aquellos valores que pueden trabajarse para la reducción de costes. A pesar de ser un sector diferente, transportes en vez de costes de producción, el estudio realizado con los datos de la empresa Aguilar y Salas se basó también en la cuestión de analizar las variables correlacionadas, verificando el efecto de cada uno de nuestros costes para construir el modelo de optimización de gastos.

Tomando nuevamente el sector de transportes como ejemplo, utilizamos el trabajo de RIECHI et al (2017), que hicieron un modelo para auxiliar la administración de activos de una flota de autobuses, fundamentado en la asociación entre la herramienta Life Cycle Cost (la cual analiza el coste del ciclo de vida de un activo) y el modelo matemático de Simulación de Monte Carlo. Hicieron un modelo con análisis estocástica, la cual tenía en cuenta la edad, kilometraje medio anual para sustitución óptima del vehículo. Con eso concluyeron que ese modelo fue más eficiente que realizar un modelo determinístico, que no incluía esos nuevos parámetros analizados por el estocástico.

2.2 Optimización de costes en el sector metalúrgico

Una vez más, específicamente en la industria metalúrgica, contamos con el estudio de LIMA e LOOS (2017), que realizaron una investigación y la utilizaron para aplicar el concepto de flujo continuo, con idea de reducir los desperdicios, disminuir el “lead time” y, consecuentemente, optimizar los costes. Como punto crucial, era necesario implicar a las personas en esa filosofía de aumento de productividad y disminución de costes.

3 Metodología de análisis

Para realizar esa optimización de costes en la empresa Aguilar y Salas fue realizado un análisis de los costes del sector de producción de todos los proyectos durante el año 2017. Con esos datos recopilados, tenemos una idea de los factores que más pesan en los costes y, con eso, realicé un gráfico de Pareto para evidenciar cuales son los factores que más pesan en el presupuesto de la empresa, con el objetivo de hacer un estudio y señalar sugerencias que ayuden en la optimización de costes.

A continuación, fueron realizadas las siguientes etapas:

- Estudio de costes para ver qué les afecta;
- Selección de costes para comprobar sobre cuáles de ellos puede realizarse el modelo estadístico;
- Obtención del modelo;
- A través de las ecuaciones matemáticas obtenidas, se verifican cuáles son las medidas que deben ser tomadas por la empresa direccionadas a minimizar esos costes de producción.

4 Resultados del análisis

Ejecutando las etapas descritas encima, se obtuvieron la Tabla 1 y la Figura 9, que muestran todos los costes del año 2017 en una tabla y el gráfico de Pareto, para decidir cuales tuvieron un mayor efecto, para actuar sobre ellos.

Costes 2017		
Coste	Valor	Porcentaje acumulado
Compra de materiales	R\$ 5.234.000,00	78,66%
Coste de Producción	R\$ 1.002.780,00	93,73%
Transportes	R\$ 160.000,00	96,13%
Coste de Calidad	R\$ 100.500,00	97,64%
Servicios	R\$ 90.000,00	98,99%
Costes Financieros	R\$ 67.000,00	100,00%
Total	R\$ 6.654.280,00	

Con los datos de la tabla, fue realizado un gráfico de Pareto que se muestra a continuación:

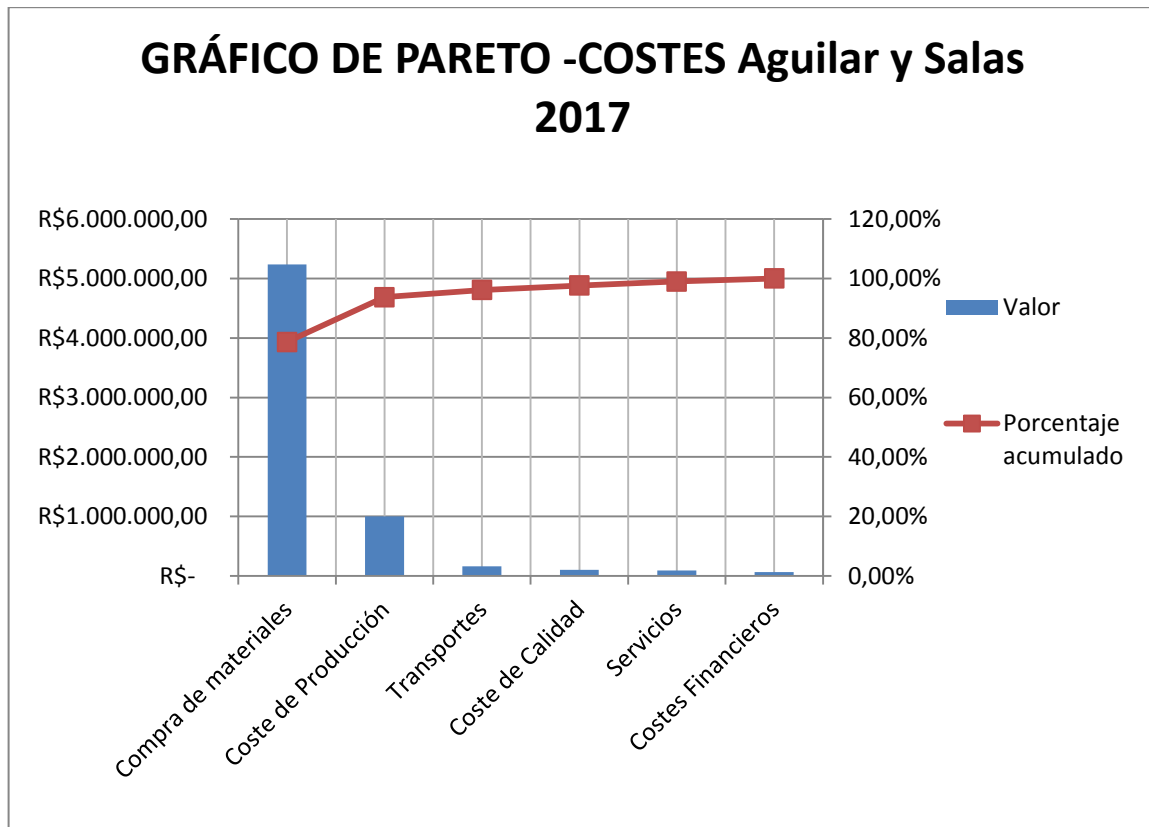


Figura 9-Gráfico de Pareto de los costes de la Empresa Aguilar y Salas Brasil

A partir de esas figuras, se obtuvieron los costes que más pesan en el presupuesto de la empresa, el sector de la producción.

Como se puede observar después de la construcción de la tabla y del gráfico, los factores en los cuales se realizará la optimización de costes son las compras de materias primas y el coste de las horas de producción no presupuestadas. Siendo así, fue realizado un estudio de las variables correlacionadas con esos dos costes, para obtener un modelo que nos ayudase en la reducción de costes, además de construir gráficos para decidirse donde será mejor actuar sugiriendo implementación de herramientas administrativas para realizar esa optimización.

Fue comprobado que en la compra de materia prima existen las siguientes variables correlacionadas como: Forma de compra, tiempo entre oferta comercial y realización de compra, cantidad comprada. Para realizar ese estudio con cada factor y como los mismos interfieren en el coste inviabilizaría el trabajo, puesto que la propia empresa no dispone de estos datos. Siendo así, el coste seleccionado para actuar sobre él es el coste de mano de obra de la producción.

Es importante entender que el funcionamiento de la empresa en Brasil tiene su foco principal en la fabricación directa de equipos. Estos equipos han sido previamente diseñados por el equipo de ingeniería en Barcelona y aceptados por el cliente. Por ello, las horas de trabajo son el punto más interesante sobre

el que actuar sabiendo que estamos estudiando los datos de la filial que Aguilar y Salas Brasil posee en la ciudad de Recife (Brasil) y no en su sede central en Barcelona.

A continuación, realizamos un análisis gráfico a partir de la producción de la empresa Aguilar y Salas Brasil Ltda. durante el año 2017. Como la producción de la empresa se realiza por pedido, el análisis de los costes de producción es realizado a partir de cada una de las órdenes de fabricación.

Al inicio del proyecto, el departamento de presupuestos junto al departamento comercial, elaboran una oferta para el cliente. Esta oferta está basada en el presupuesto que la empresa estima necesario para la fabricación de los equipos más un margen que varía entre el 6 y 12%, según la complejidad y el plazo de fabricación del proyecto.

En los costes de presupuestos, son considerados los costes financieros, la compra de materiales, los costes de calidad, los costes de transportes, la tercerización de actividades y el coste de producción.

He entendido que es interesante realizar el estudio a partir de los costes de producción. Estos costes están relacionados con el coste hora de la mano de obra de las diferentes subsecciones dentro de la producción. Estas son: preparación, mecanizado, calderería, soldadura, acabado, test y pruebas. El coste real de nuestra mano de obra es de R\$ 60 la hora, aunque el precio de venta sea de R\$ 90 la hora. Con la diferencia, podemos hacer frente al resto de costes de estructura y al coste de personal de oficinas (departamentos de ingeniería, calidad, administrativo, financiero, personal y compras).

El análisis que realizamos a continuación consiste en determinar si el presupuesto estimado inicialmente, es decir, el número de horas previstas en cada uno de los subsectores es o no adecuado. Y cuando no lo es, realizar un estudio de las diferencias, analizando qué subsectores cuentan con una diferencia mayor, permitiéndonos analizar sus causas y corregirlas.

OF 2768 - RHODIA

Cantidad:	1	PESO UNIT.:	8.085,00 kg	PESO TOTAL:	8.085,00 kg
------------------	----------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

	Coste previsto (R\$)	Coste real (R\$)	Diferencia Coste previsto y real		Horas Previstas (h)	Horas Realizadas (h)
			(R\$)	(%)*		
Preparación	R\$ 13.920,00	R\$ 15.360,00	-R\$ 1.440,00	110,34%	232	256
Mecanizado	R\$ 8.580,00	R\$ 8.580,00	R\$ -	100,00%	143	143
Calderería	R\$ 42.780,00	R\$ 53.760,00	-R\$ 10.980,00	125,67%	713	896
Soldadura	R\$ 33.120,00	R\$ 47.940,00	-R\$ 14.820,00	144,75%	552	799
Acabado	R\$ 3.180,00	R\$ -	R\$ 3.180,00	0,00%	53	0
Test y pruebas	R\$ 5.340,00	R\$ 1.860,00	R\$ 3.480,00	34,83%	89	31
TOTAL	R\$ 106.920,00	R\$ 127.500,00	-R\$ 20.580,00	119,25%	1782	2125

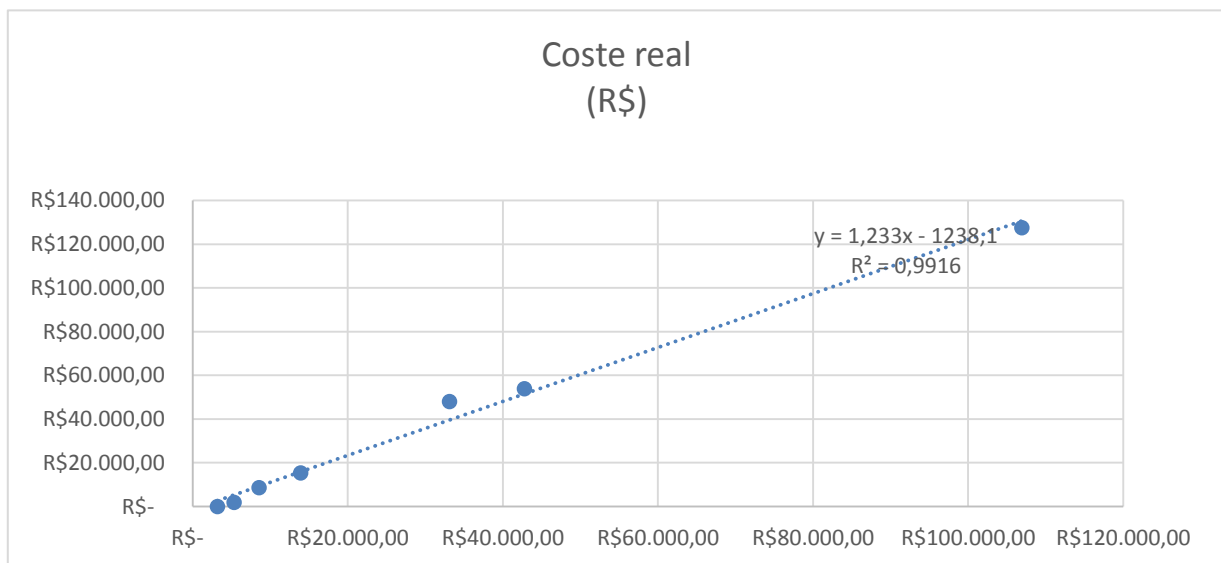
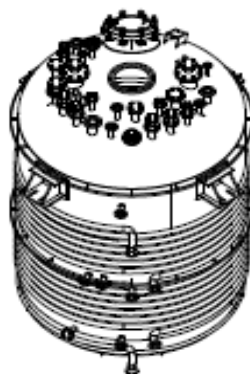


Figura 10 y gráfico 1- Proyecto Rhodia (OF 2768)



OF 2856 AVANZIA (MÉXICO)					
Cantidad:	1	PESO UNIT.:	57.785,00 kg	PESO TOTAL:	57.785,00 kg

	Coste previsto (R\$)	Coste real (R\$)	Diferencia Coste previsto y real		Horas Previstas (h)	Horas Realizadas (h)
			(R\$)	(%)*		
Preparación	R\$ 32.220,00	R\$ 36.000,00	-R\$ 3.780,00	111,73%	537	600
Mecanizado	R\$ 8.040,00	R\$ 9.000,00	-R\$ 960,00	111,94%	134	150
Calderería	R\$ 56.400,00	R\$ 78.000,00	-R\$ 21.600,00	138,30%	940	1300
Soldadura	R\$ 56.400,00	R\$ 54.000,00	R\$ 2.400,00	95,74%	940	900
Acabado	R\$ 8.040,00	R\$ 6.000,00	R\$ 2.040,00	74,63%	134	100
Test y pruebas	R\$ -	R\$ -	R\$ -	0,00%	0	0
TOTAL	R\$ 161.100,00	R\$ 183.000,00	-R\$ 21.900,00	113,59%	2685	3050

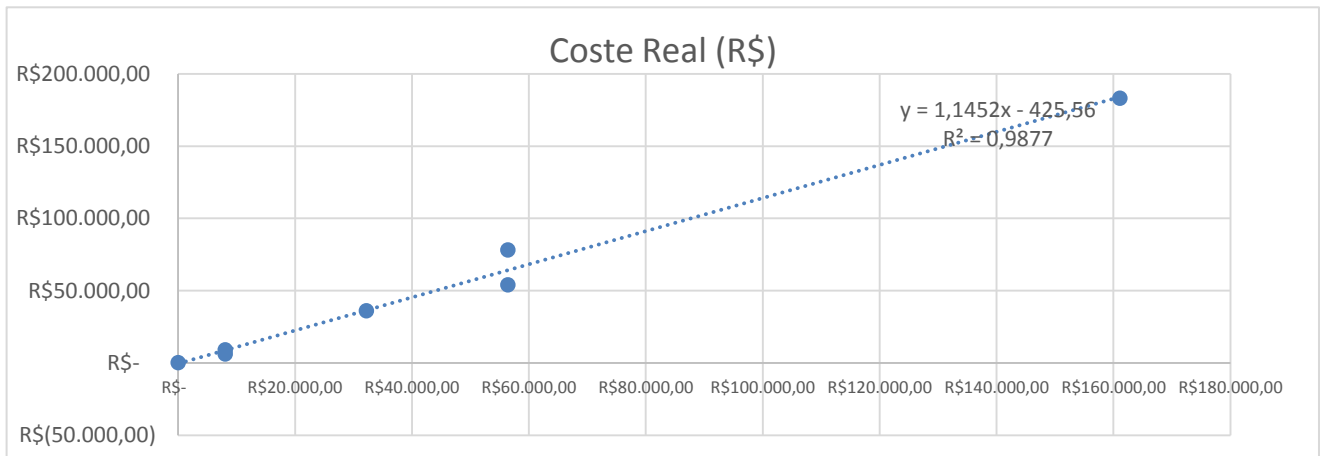
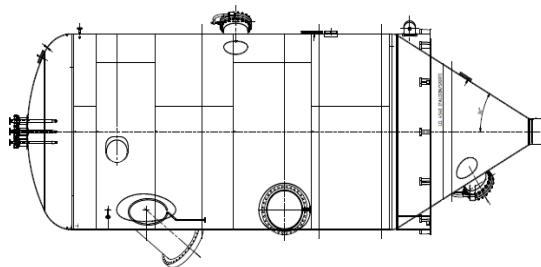


Tabla 2 y gráfico 2- Proyecto Avanzia (OF 2856)



OF 2833 DOW BRASIL (Salvador de Bahía)

Cantidad:	1	PESO UNIT.:	5.550,00 kg	PESO TOTAL:	5.550,00 kg
------------------	----------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

	Coste previsto (R\$)	Coste real (R\$)	Diferencia Coste previsto y real		Horas Previstas (h)	Horas Realizadas (h)
			(R\$)	(%)*		
Preparación	R\$ 1.680,00	R\$ 1.680,00	R\$ -	100,00%	28	28
Mecanizado	R\$ 1.680,00	R\$ 1.800,00	-R\$ 120,00	107,14%	28	30
Calderería	R\$ 6.600,00	R\$ 9.000,00	-R\$ 2.400,00	136,36%	110	150
Soldadura	R\$ 14.880,00	R\$ 10.920,00	R\$ 3.960,00	73,39%	248	182
Acabado	R\$ 4.980,00	R\$ 540,00	R\$ 4.440,00	10,84%	83	9
Test y pruebas	R\$ -	R\$ 4.560,00	-R\$ 4.560,00	0,00%	55	76
TOTAL	R\$ 33.120,00	R\$ 28.500,00	R\$ 4.620,00	86,05%	552	475

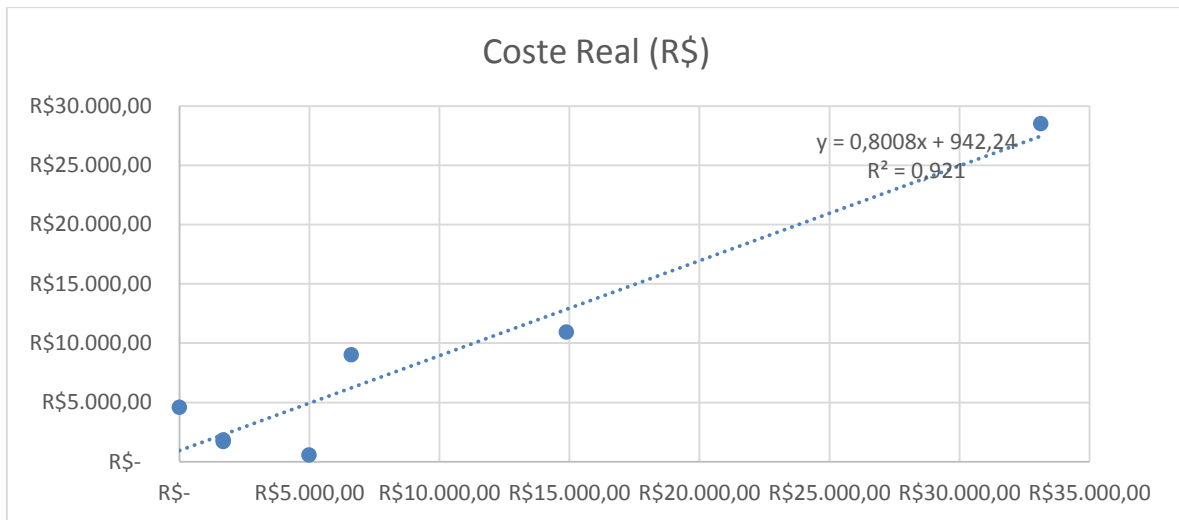
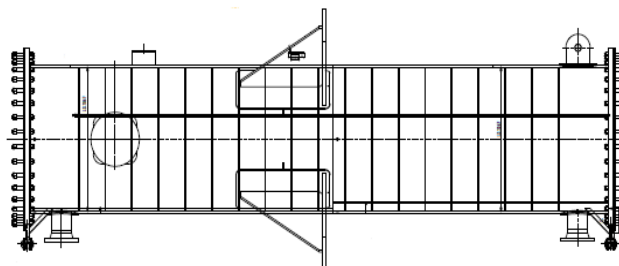


Tabla 3 y gráfico 3- Proyecto DOW Brasil (OF 2833)



OF 2810 FORMITEX BAHIA

Cantidad:	1	PESO UNIT.:	4.720,00 kg	PESO TOTAL:	4.720,00 kg
------------------	----------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

	Coste previsto (R\$)	Coste real (R\$)	Diferencia Coste previsto y real		Horas Previstas (h)	Horas Realizadas (h)
			(R\$)	(%)*		
Preparación	R\$ 4.740,00	R\$ 4.800,00	-R\$ 60,00	101,27%	79	80
Mecanizado	R\$ 1.560,00	R\$ 1.800,00	-R\$ 240,00	115,38%	26	30
Calderería	R\$ 12.660,00	R\$ 14.400,00	-R\$ 1.740,00	113,74%	211	240
Soldadura	R\$ 9.480,00	R\$ 9.600,00	-R\$ 120,00	101,27%	158	160
Acabado	R\$ 1.560,00	R\$ 540,00	R\$ 1.020,00	34,62%	26	9
Test y pruebas	R\$ -	R\$ 1.200,00	-R\$ 1.200,00	0,00%	26	20
TOTAL	R\$ 31.560,00	R\$ 32.340,00	-R\$ 780,00	102,47%	526	539

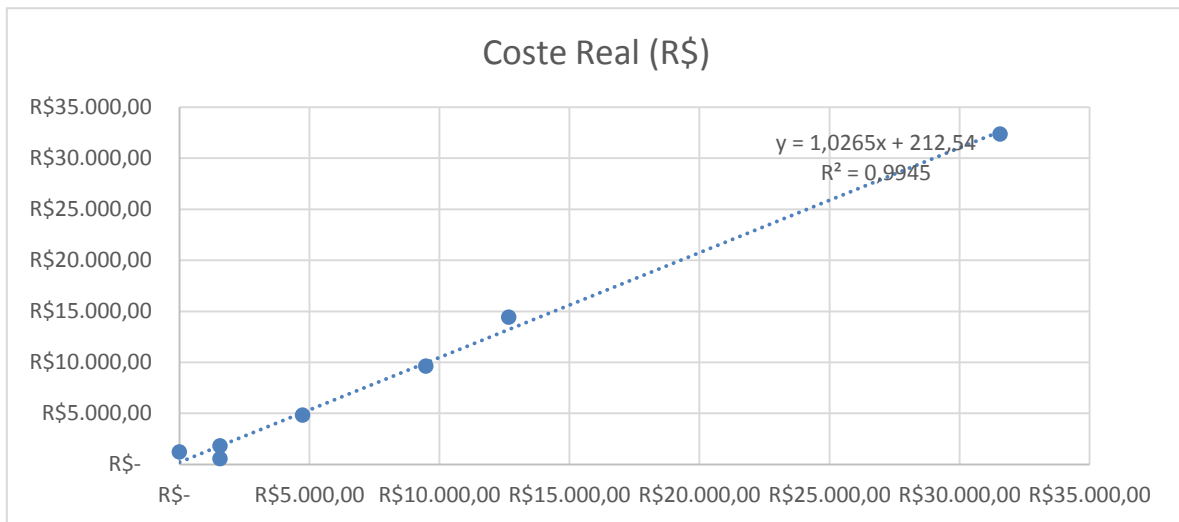
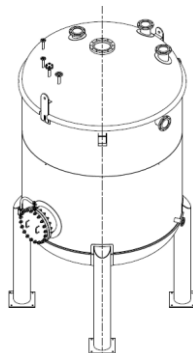


Tabla 4 y gráfico 4- Proyecto Formitex Bahía (OF 2810)



OF 2811 FORMITEX BAHIA

Cantidad:	1	PESO UNIT.:	4.750,00 kg	PESO TOTAL:	4.750,00 kg
------------------	----------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

	Coste previsto (R\$)	Coste real (R\$)	Diferencia Coste previsto y real		Horas Previstas (h)	Horas Realizadas (h)
			(R\$)	(%)*		
Preparación	R\$ 6.600,00	R\$ 6.600,00	R\$ -	100,00%	110	110
Mecanizado	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00	R\$ -	100,00%	50	50
Calderería	R\$ 29.400,00	R\$ 48.000,00	-R\$ 18.600,00	163,27%	490	800
Soldadura	R\$ 19.200,00	R\$ 16.800,00	R\$ 2.400,00	87,50%	320	280
Acabado	R\$ 3.000,00	R\$ 5.400,00	-R\$ 2.400,00	180,00%	50	90
Test y prueba	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00	R\$ -	0,00%	50	50
TOTAL	R\$ 64.200,00	R\$ 82.800,00	-R\$ 18.600,00	128,97%	1070	1380

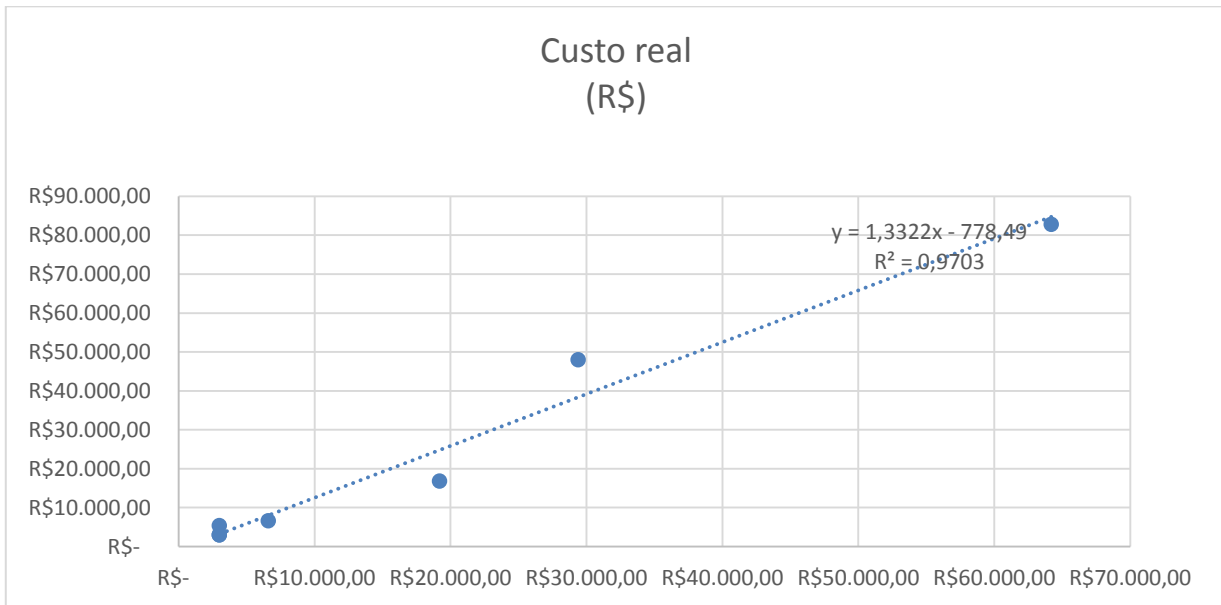
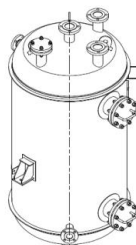


Tabla 5 y gráfico 5- Proyecto Formitex Bahía (OF 2811)



OF 2812 FORMITEX BAHIA

Cantidad:	1	PESO UNIT.:	3.550,00 kg	PESO TOTAL:	3.550,00 kg
------------------	----------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

	Coste previsto (R\$)	Coste real (R\$)	Diferencia entre Coste previsto y real		Horas Previstas (h)	Horas Realizadas (h)
			(R\$)	(%)*		
Preparação	R\$ 7.800,00	R\$ 6.600,00	R\$ 1.200,00	84,62%	130	110
US	R\$ 4.200,00	R\$ 1.800,00	R\$ 2.400,00	42,86%	70	30
CAL	R\$ 35.400,00	R\$ 42.000,00	-R\$ 6.600,00	118,64%	590	700
SOL	R\$ 23.400,00	R\$ 23.400,00	R\$ -	100,00%	390	390
ACAB	R\$ 4.200,00	R\$ 4.140,00	R\$ 60,00	98,57%	70	69
TEST	R\$ 3.000,00	R\$ 2.700,00	R\$ 300,00	90,00%	50	45
TOTAL	R\$ 78.000,00	R\$ 80.640,00	-R\$ 2.640,00	103,38%	1300	1344

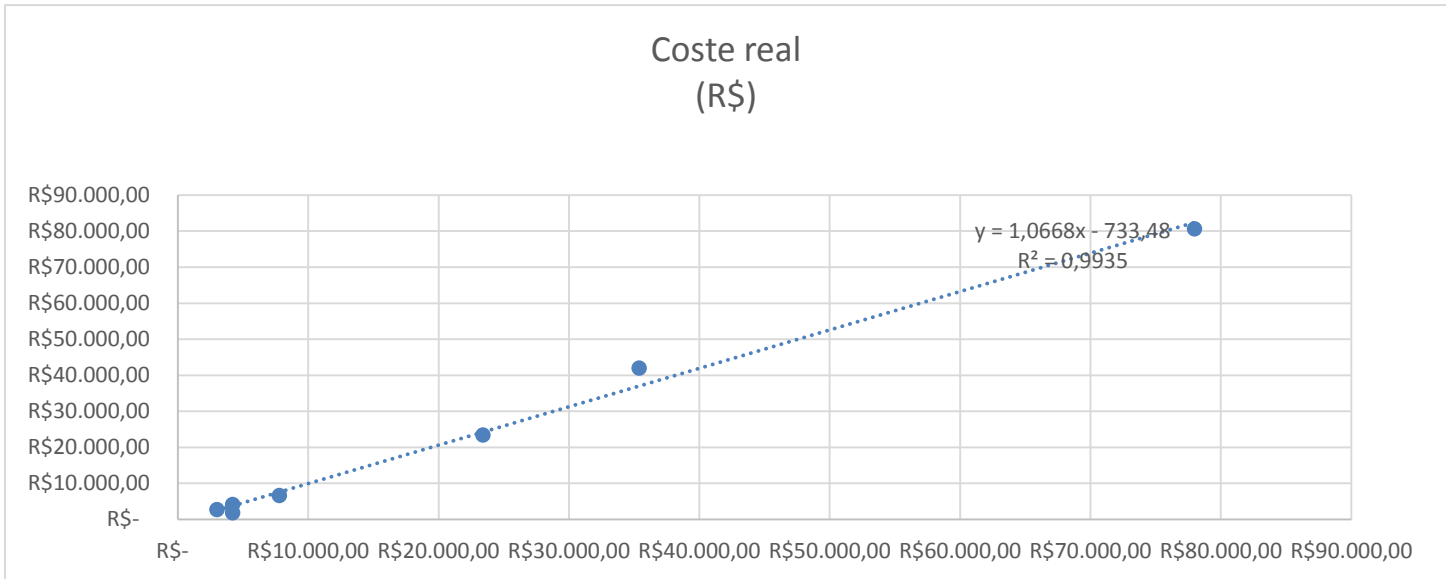
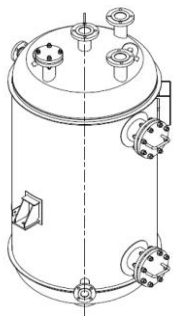


Tabla 6 y gráfico 6- Proyecto Formitex Bahía (OF 2812)



OF 2813 FORMITEX BAHIA					
Cantidad:	1	PESO UNIT.:	3.250,00 kg	PESO TOTAL:	3.250,00 kg

	Coste previsto (R\$)	Coste real (R\$)	Diferencia Coste previsto y real		Horas Previstas (h)	Horas Realizadas (h)
			(R\$)	(%)*		
Preparación	R\$ 7.200,00	R\$ 1.200,00	R\$ 6.000,00	16,67%	120	20
Mecanizado	R\$ 3.600,00	R\$ 3.000,00	R\$ 600,00	83,33%	60	50
Calderería	R\$ 33.600,00	R\$ 39.000,00	-R\$ 5.400,00	116,07%	560	650
Soldadura	R\$ 22.200,00	R\$ 24.000,00	-R\$ 1.800,00	108,11%	370	400
Acabado	R\$ 3.600,00	R\$ 3.000,00	R\$ 600,00	83,33%	60	50
Test y pruebas	R\$ 3.600,00	R\$ 1.200,00	R\$ 2.400,00	33,33%	60	20
TOTAL	R\$ 73.800,00	R\$ 71.400,00	R\$ 2.400,00	96,75%	1230	1190

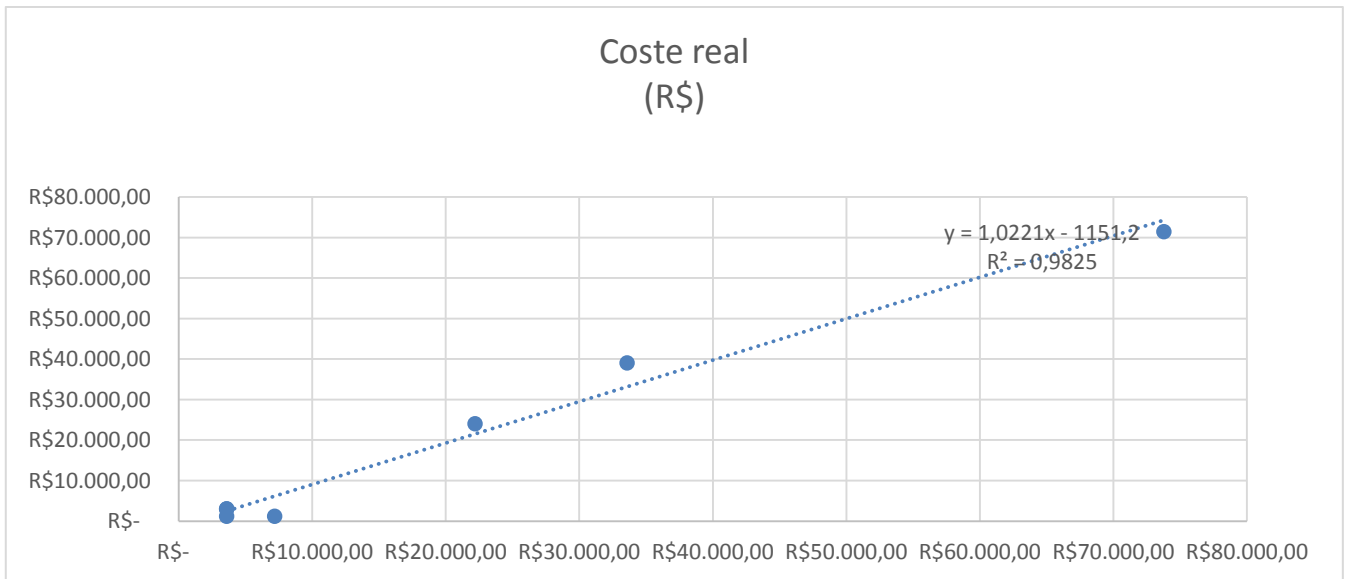
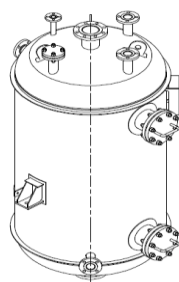


Tabla 7 y gráfico 7- Proyecto Formitex Bahía (OF 2813)



OF 2850 VALMET (CURITIBA)					
Cantidad:	1	PESO UNIT.:	32.500,00 kg	PESO TOTAL:	32.500,00 kg

	Coste previsto (R\$)	Coste real (R\$)	Diferencia Coste previsto y real		Horas Previstas (h)	Horas Realizadas (h)
			(R\$)	(%)*		
Preparación	R\$ 18.360,00	R\$ 18.000,00	R\$ 360,00	98,04%	306	300
Mecanizado	R\$ 4.560,00	R\$ 3.000,00	R\$ 1.560,00	65,79%	76	50
Calderería	R\$ 32.100,00	R\$ 36.000,00	-R\$ 3.900,00	112,15%	535	600
Soldadura	R\$ 32.100,00	R\$ 24.000,00	R\$ 8.100,00	74,77%	535	400
Acabado	R\$ 4.560,00	R\$ 3.000,00	R\$ 1.560,00	65,79%	76	50
Test	R\$ 300,00	R\$ 1.200,00	-R\$ 900,00	400,00%	5	20
TOTAL	R\$ 91.980,00	R\$ 85.200,00	R\$ 6.780,00	92,63%	1533	1420

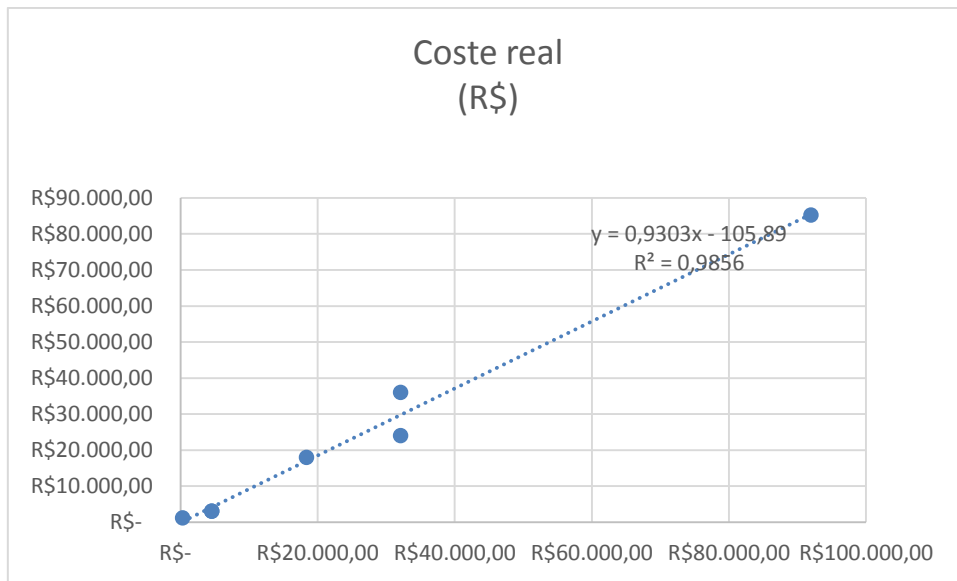
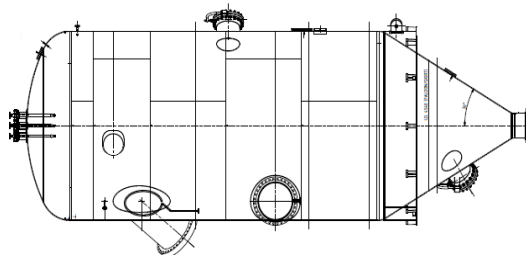


Tabla 8 y gráfico 8- Proyecto Valmet (OF 2850)



OF 2828 REFINARIA HENRIQUE LAGE - SÃO PAULO					
Cantidad:	1	PESO UNIT.:	46.080,00 kg	PESO TOTAL:	46.080,00 kg

	Coste previsto (R\$)	Coste real (R\$)	Diferencia Coste previsto y real		Horas Previstas (h)	Horas Realizadas (h)
			(R\$)	(%)*		
Preparación	R\$ 13.800,00	R\$ 6.600,00	R\$ 7.200,00	47,83%	230	110
Mecanizado	R\$ 6.600,00	R\$ 6.780,00	-R\$ 180,00	102,73%	110	113
Calderería	R\$ 67.800,00	R\$ 78.000,00	-R\$ 10.200,00	115,04%	1130	1300
Soldadura	R\$ 47.400,00	R\$ 42.000,00	R\$ 5.400,00	88,61%	790	700
Acabado	R\$ 6.000,00	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00	50,00%	100	50
Test	R\$ 9.000,00	R\$ 3.600,00	R\$ 5.400,00	40,00%	150	60
TOTAL	R\$ 150.600,00	R\$ 139.980,00	R\$ 10.620,00	92,95%	2510	2333

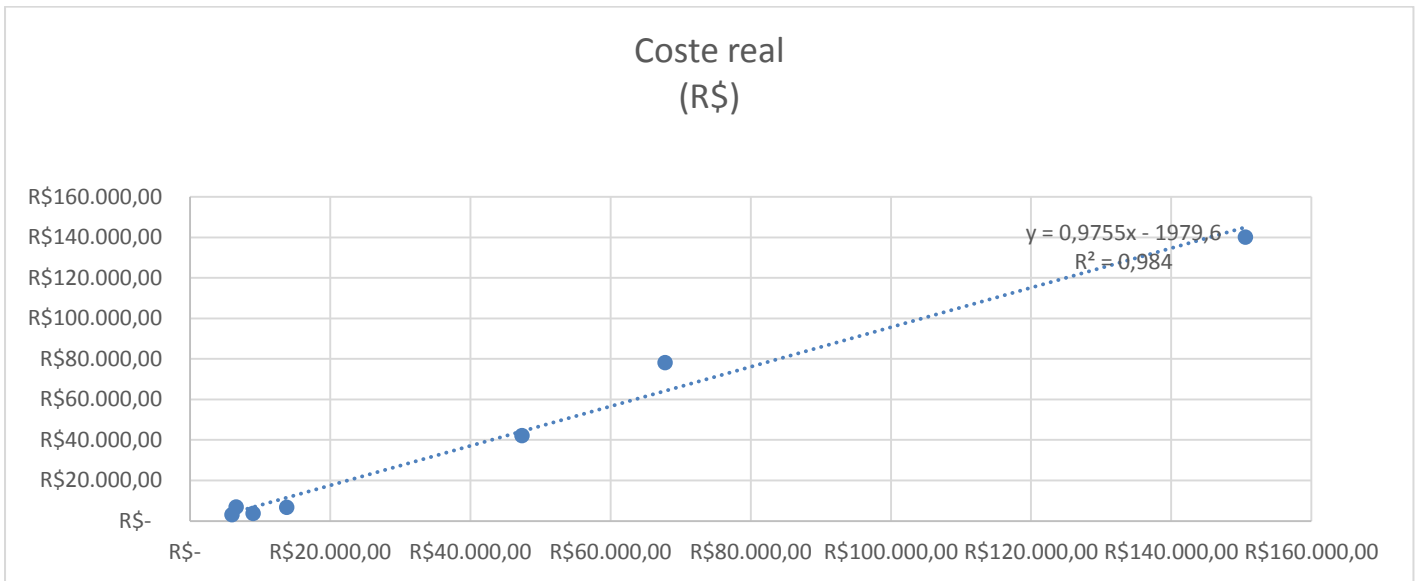
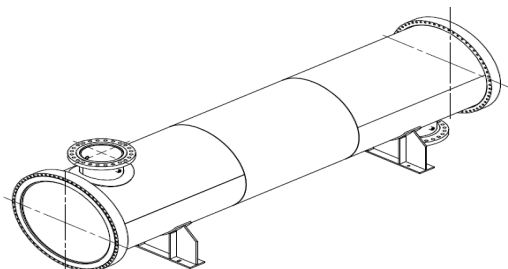


Tabla 9 y gráfico 9- Proyecto Petrobrás (OF 2828)



OF 2855 DEPIN - RLAN (PETROBRÁS)

Cantidad:	1	PESO UNIT.:	42.000,00 kg	PESO TOTAL:	42.000,00 kg
------------------	----------	--------------------	---------------------	--------------------	---------------------

	Coste previsto (R\$)	Coste real (R\$)	Diferencia Coste previsto y real		Horas Previstas (h)	Horas Realizadas (h)
			(R\$)	(%)*		
Preparación	R\$ 17.400,00	R\$ 6.660,00	R\$ 10.740,00	38,28%	290	111
Mecanizado	R\$ 9.000,00	R\$ 6.360,00	R\$ 2.640,00	70,67%	150	106
Calderería	R\$ 87.000,00	R\$ 102.000,00	-R\$ 15.000,00	117,24%	1450	1700
Soldadura	R\$ 61.200,00	R\$ 51.000,00	R\$ 10.200,00	83,33%	1020	850
Acabado	R\$ 6.000,00	R\$ 5.400,00	R\$ 600,00	90,00%	100	90
Test	R\$ -	R\$ -	R\$ -	0,00%	0	0
TOTAL	R\$ 180.600,00	R\$ 171.420,00	R\$ 9.180,00	94,92%	3010	2857

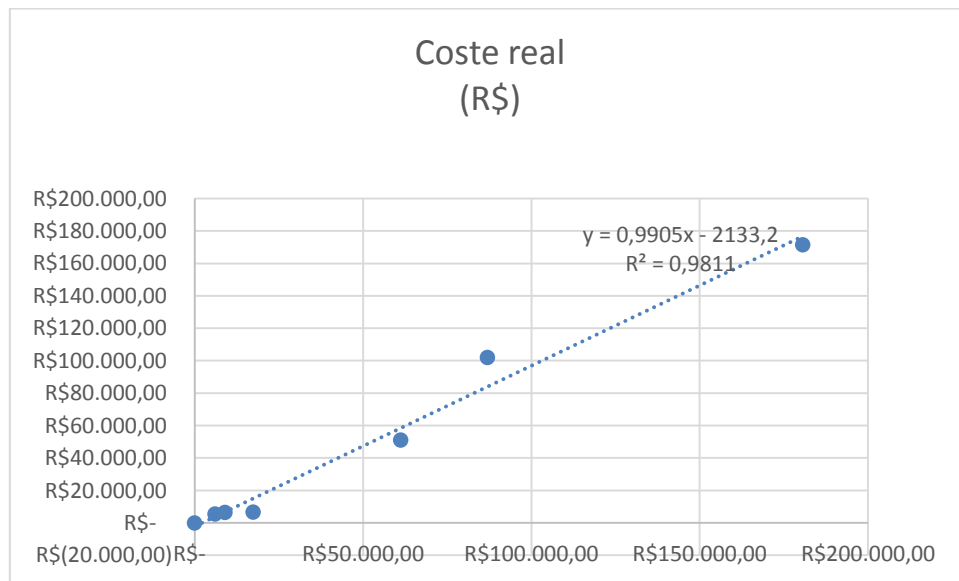
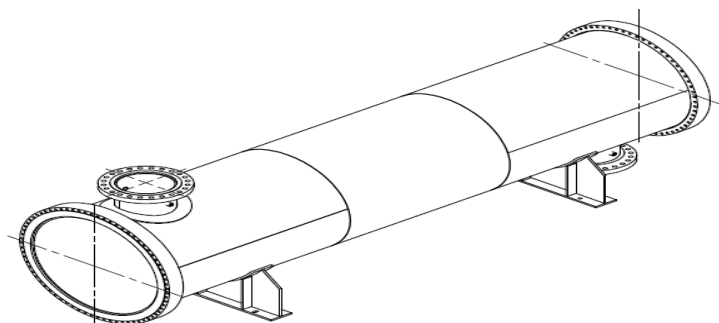


Tabla 10 y gráfico 10- Proyecto Petrobrás (OF 2855)



Con base en la regresión lineal a través del método de los mínimos cuadrados, la recta que mejor se ajustó a los puntos en cada gráfico es diferente de $y=x$, lo que indica que los costes previstos son estadísticamente distintos a los costes reales, a pesar de existir cierta linealidad en los gráficos en que R^2 presentó un valor próximo a 1.

A partir de estos datos, realizamos análisis de la media y la desviación estándar para cada sector de producción y calculamos el coeficiente de variación para comprobar en qué sectores existe una diferencia mayor entre el coste real y el coste previsto.

Análisis de la Fase de Preparación			
OF	Diferencia entre coste real y coste previsto	Estadística	
1	R\$ 1.440,00	Media	R\$ 2.226,67
2	R\$ 3.780,00	Desviación típica	R\$ 2.764,80
3	-	Coeficiente de variación	124%
4	R\$ 60,00		
5	-		
6	R\$ 1.200,00		
7	R\$ 6.000,00		
8	R\$ 360,00		
9	R\$ 7.200,00		
10	R\$ 10.740,00		

Tabla 11- Análisis de la Fase de Preparación

Análisis de la Fase de Mecanizado			
OF	Diferencia entre coste real y coste previsto	Estadística	
1	-	Media	R\$ 1.087,50
2	R\$ 960,00	Desviación típica	R\$ 1.006,26
3	R\$ 120,00	Coeficiente de variación	93%
4	R\$ 240,00		
5	-		
6	R\$ 2.400,00		
7	R\$ 600,00		
8	R\$ 1.560,00		
9	R\$ 180,00		
10	R\$ 2.640,00		

Tabla 12- Análisis de la Fase de Mecanizado

Análisis de la Fase de Calderería			
OF	Diferencia entre coste real y coste previsto	Estadística	
1	R\$ 10.980,00	Media	R\$ 9.642,00
2	R\$ 21.600,00	Desviación típica	R\$ 6.905,36
3	R\$ 2.400,00	Coeficiente de variación	72%
4	R\$ 1.740,00		
5	R\$ 18.600,00		
6	R\$ 6.600,00		
7	R\$ 5.400,00		
8	R\$ 3.900,00		
9	R\$ 10.200,00		
10	R\$ 15.000,00		

Tabla 13- Análisis de la Fase de Calderería

Análisis de la Fase de Soldadura			
OF	Diferencia entre coste real y coste previsto	Estadística	
1	R\$ 14.820,00	Media	R\$ 1.760,00
2	R\$ 2.400,00	Desviación típica	R\$ 7.254,36
3	R\$ 3.960,00	Coeficiente de variación	412%
4	R\$ 2.400,00		
5	-		
6	R\$ 1.800,00		
7	R\$ 8.100,00		
8	R\$ 5.400,00		
9	R\$ 10.200,00		
10	R\$ 15.000,00		

Tabla 14- Análisis de la Fase de Soldadura

Análisis de la Fase de Acabado			
OF	Diferencia entre coste real y coste previsto	Estadística	
1	R\$ 3.180,00	Media	R\$ 1.890,00
2	R\$ 2.040,00	Desviación típica	R\$ 1.383,40
3	R\$ 4.440,00	Coeficiente de variación	134%
4	R\$ 1.020,00		
5	R\$ 2.400,00		
6	R\$ 60,00		
7	R\$ 600,00		
8	R\$ 1.560,00		
9	R\$ 3.000,00		
10	R\$ 600,00		

Tabla 15- Análisis de la Fase de Acabado

Análisis de la Fase de Test y Pruebas			
OF	Diferencia entre coste real y coste previsto	Estadística	
1	R\$ 3.400,00	Media	R\$ 2.594,29
2	-	Desviación típica	R\$ 1.936,55
3	R\$ 4.560,00	Coefficiente de variación	75%
4	R\$ 1.200,00		
5	-		
6	R\$ 300,00		
7	R\$ 2.400,00		
8	R\$ 900,00		
9	R\$ 5.400,00		
10	-		

Tabla 16- Análisis de la Fase de Test y Pruebas

Con base en esas dos tablas, los sectores que tuvieron mayor diferencia media fueron calderería y test y pruebas. Aunque la etapa de calderería tiene una diferencia media entre el coste real y el coste previsto muy superior a la media.

Para la empresa, es perjudicial tanto si la diferencia es positiva como si es negativa. Tratando siempre de minimizar la diferencia y, que si esta existe sea porque el coste previsto sea mayor al coste real, lo que aumenta el margen minimizando los costes. Es interesante hacer la reflexión sobre el perjuicio en ambos casos, puesto que es evidente que cuando el coste real es mayor al presupuestado, genera un coste no previsto que minimiza el margen e incluso, cuando la diferencia es muy alta, puede anularlo y hasta generar pérdidas para la empresa. Pero también, en un mercado tan competitivo con diferencias de precios mínimas entre los diferentes competidores, el hecho de presupuestar sistemáticamente horas que no son necesarias provoca que el precio en la oferta de la empresa sea mayor y, por tanto, menos competitivo, pudiendo perder contratos respecto a otros competidores.

A partir de los gráficos anteriores, realizamos un estudio sobre el modelo $y=ax^n$, donde “y” es la diferencia entre el coste previsto y el coste real y “x” es la diferencia entre las horas previstas y las horas reales, considerando una tendencia de crecimiento de la variable con la x. Con eso hacemos la ecuación lineal aplicando el logaritmo de ambos lados, para hacerla lineal:

$$\text{Log}(y) = \text{log}(ax^n) \text{ (Ecuación 16)}$$

$$\text{Log}(y) = \text{log}(a) + n \text{log}(x) \text{ (Ecuación 17)}$$

En aquel gráfico anterior, obtuvimos unas rectas, en las que “n” es la inclinación de la misma, o sea, el valor de (a) en la ecuación mostrada por el Excel $Y=AX+B$ (donde “y” ahora representa $\text{log}(y)$, X é o $\text{log}(x)$, A es “n” y B es $\text{log}(a)$).

De ese modo, en cada sector se colocó conforme a la ecuación 17, con la finalidad de verificar con el grado “n” cuál era el tipo de relación existente entre las variables.

Etapa de Preparación - Construcción del modelo $y=ax^n \rightarrow (y=\text{Diferencia entre coste previsto y real; } x=\text{diferencia entre horas previstas y horas trabajadas})$										
OF	Coste Real	Coste previsto	Diferencia entre Coste Previsto y Real	Horas Previstas	Horas trabajadas	Diferencia entre horas previstas y trabajadas	log (diferencia horas previstas-horas reales)	log (Diferencia coste previsto-coste real)	log(horas previstas)	log(Coste)
1	R\$ 15.360,00	R\$ 13.920,00	R\$ 1.440,00	R\$ 232,00	R\$ 256,00	R\$ 24,00	1,3802112	3,158362492	R\$ 2,37	
2	R\$ 36.000,00	R\$ 32.220,00	R\$ 3.780,00	R\$ 537,00	R\$ 600,00	R\$ 63,00	1,7993405	3,5774918		
3	R\$ 1.680,00	R\$ 1.680,00	R -	R\$ 28,00	R\$ 28,00	R\$ -		!	R\$ 1,45	R\$ 3,23
4	R\$ 4.800,00	R\$ 4.740,00	R\$ 60,00	R\$ 79,00	R\$ 80,00	R\$ 1,00	0	1,77815125	R\$ 1,90	R\$ 3,68
5	R\$ 6.600,00	R\$ 6.600,00	R\$ -	R\$ 110,00	R\$ 110,00	R\$ -			R\$ 2,04	R\$ 3,82
6	R\$ 6.600,00	R\$ 7.800,00	R\$ 1.200,00	R\$ 130,00	R\$ 110,00	R\$ 20,00	1,30103	3,079181246	R\$ 2,11	R\$ 3,82
7	R\$ 1.200,00	R\$ 7.200,00	R\$ 6.000,00	R\$ 120,00	R\$ 20,00	R\$ 100,00	2	3,77815125	R\$ 2,08	R\$ 3,08
8	R\$ 18.000,00	R\$ 18.360,00	R\$ 60,00	R\$ 306,00	R\$ 300,00	R\$ 6,00	0,7781513	1,77815125	R\$ 2,49	R\$ 4,26
9	R\$ 6.600,00	R\$ 13.800,00	R\$ 7.200,00	R\$ 230,00	R\$ 110,00	R\$ 120,00	2,0791812	3,857332496	R\$ 2,36	R\$ 3,82
10	R\$ 6.660,00	R\$ 17.400,00	R\$ 10.740,00	R\$ 290,00	R\$ 111,00	R\$ 179,00	2,252853	4,031004281		

Tabla 17- Etapa de Preparación

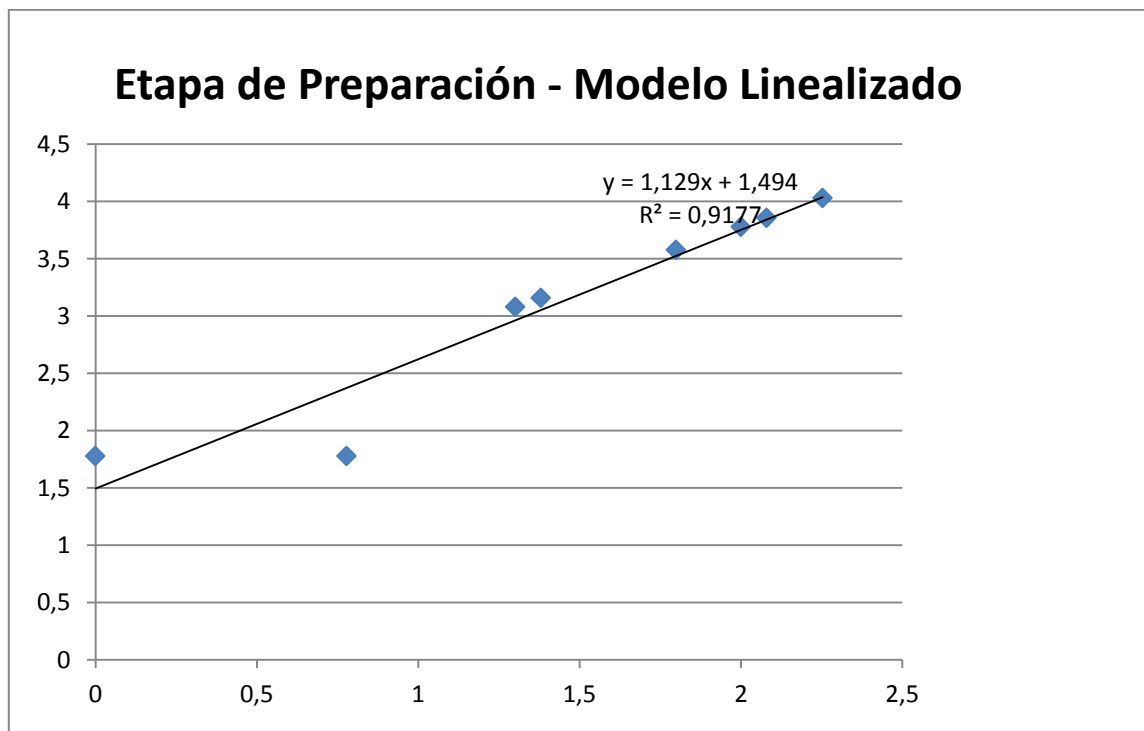


Gráfico 11- Etapa de Preparación

Etapa de Mecanizado - Construcción del modelo $y=ax^n \rightarrow (y=\text{Diferencia entre coste previsto y real}; x=\text{diferencia entre horas previstas y horas trabajadas})$										
OF	Coste Real	Coste previsto	Diferencia entre Coste Previsto y Real	Horas Previstas	Horas trabajadas	Diferencia entre horas previstas y trabajadas	log (diferencia horas previstas-horas reales)	log (Diferencia coste previsto-coste real)	log(horas previstas)	log(Coste)
1	R\$ 8.580,00	R\$ 8.580,00	R\$ -	143	143	0			2,155	3,933
2	R\$ 9.000,00	R\$ 8.040,00	R\$ 960,00	134	150	16	1,204	2,982	2,127	3,954
3	R\$ 1.800,00	R\$ 1.680,00	R\$ 120,00	28	30	2			1,447	3,255
4	R\$ 1.800,00	R\$ 1.560,00	R\$ 240,00	26	30	4	0,602	2,38	1,415	3,255
5	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00	R\$ -	50	50	0			1,699	3,477
6	R\$ 1.800,00	R\$ 4.200,00	R\$ 2.400,00	70	30	40	1,602	3,38	1,845	3,255
7	R\$ 3.000,00	R\$ 3.600,00	R\$ 600,00	60	50	10	1	2,778	1,778	3,477
8	R\$ 3.000,00	R\$ 4.560,00	R\$ 1.560,00	76	50	26	1,415	3,193	1,881	3,477
9	R\$ 6.780,00	R\$ 6.600,00	R\$ 180,00	110	113	3	0,477	2,255	2,041	3,831
10	R\$ 6.360,00	R\$ 9.000,00	R\$ 2.640,00	150	106	44	1,643	3,422	2,176	3,803

Tabla 18- Etapa de Mecanizado

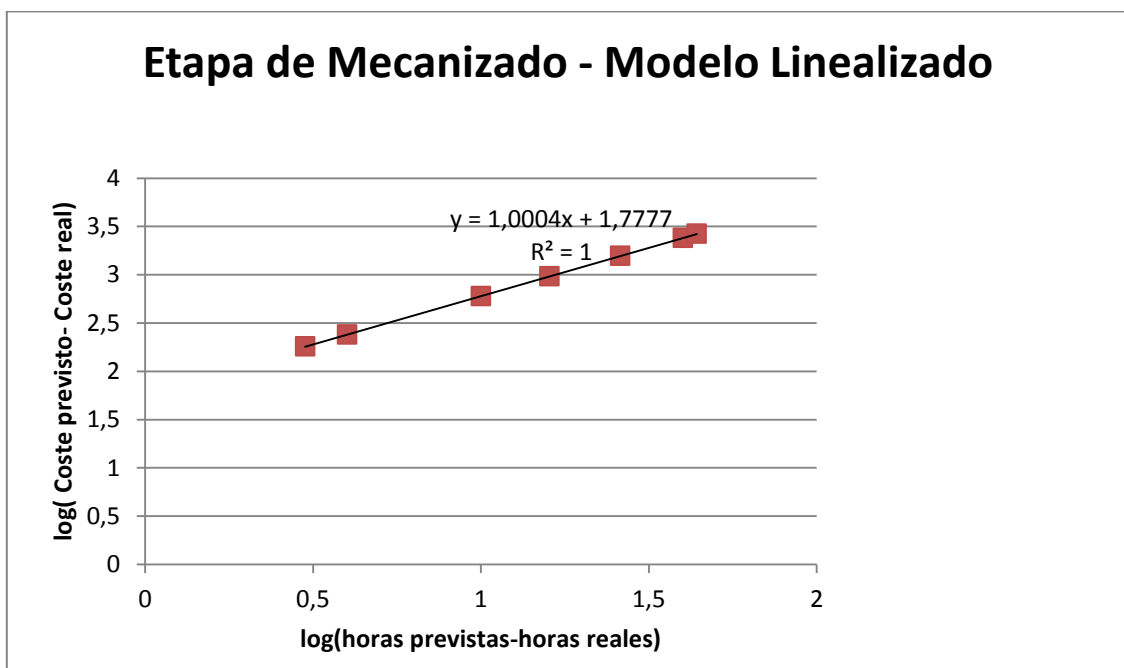


Gráfico 12- Etapa de Mecanizado

Etapa de Calderería - Construcción del modelo $y=ax^n \rightarrow (y=\text{Diferencia entre coste previsto y real}; x=\text{diferencia entre horas previstas y horas trabajadas})$										
OF	Coste Real	Coste previsto	Diferencia entre Coste Previsto y Real	Horas Previstas	Horas trabajadas	Diferencia entre horas previstas y trabajadas	log (diferencia horas previstas-horas reales)	log (Diferencia coste previsto-coste real)	log(horas previstas)	log(Coste)
1	R\$ 53.760,00	R\$ 42.780,00	R\$ 10.980,00	713	816	103			2,853	4,73
2	R\$ 78.000,00	R\$ 56.400,00	R\$ 21.600,00	940	1300	360	2,556	4,334	2,973	4,892
3	R\$ 9.000,00	R\$ 6.600,00	R\$ 2.400,00	110	150	40			2,041	3,954
4	R\$ 14.400,00	R\$ 12.660,00	R\$.740,00	211	240	29	1,462	3,241	2,324	4,158
5	R\$ 48.000,00	R\$ 29.400,00	R\$ 8.600,00	490	800	310			2,69	4,681
6	R\$ 42.000,00	R\$ 35.400,00	R\$.600,00	590	700	110	2,041	3,82	2,771	4,623
7	R\$ 39.000,00	R\$ 33.600,00	R\$.400,00	560	650	90	1,954	3,732	2,748	4,591
8	R\$ 36.000,00	R\$ 32.100,00	R\$.900,00	535	600	65	1,813	3,591	2,728	4,556
9	R\$ 78.000,00	R\$ 67.800,00	R\$ 0.200,00	1130	1300	170	2,23	4,009	3,053	4,892
10	R\$ 102.000,00	R\$ 87.000,00	R\$ 5.000,00	1450	1700	250	2,398	4,176	3,161	5,009

Tabla 19- Etapa de Calderería

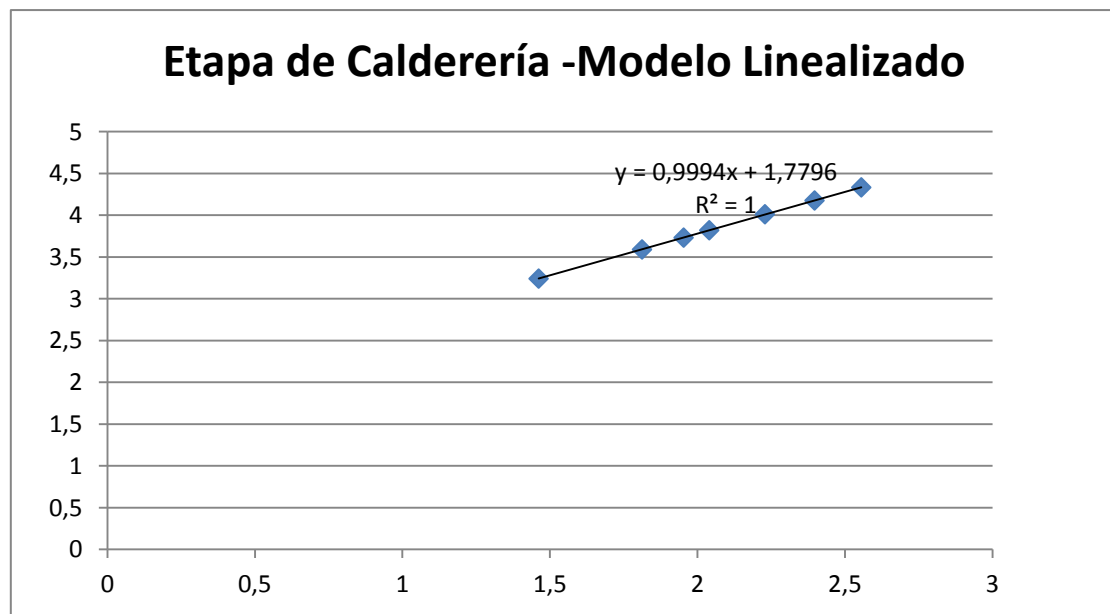


Gráfico 13- Etapa de Calderería

Etapa de Soldadura - Construcción del modelo $y=ax^n \rightarrow (y=\text{Diferencia entre coste previsto y real; } x=\text{diferencia entre horas previstas y horas trabajadas})$										
OF	Coste Real	Coste previsto	Diferencia entre Coste Previsto y Real	Horas Previstas	Horas trabajadas	Diferencia entre horas previstas y trabajadas	log (diferencia horas previstas-horas reales)	log (Diferencia coste previsto-coste real)	log(horas previstas)	log(Coste)
1	R\$ 47.940,00	R\$ 33.120,00	R\$ 14.820,00	552	799	247			2,742	4,681
2	R\$ 54.000,00	R\$ 56.400,00	R\$ 2.400,00	940	900	40	1,602	3,38	2,973	4,732
3	R\$ 10.920,00	R\$ 14.880,00	R\$ 3.960,00	248	182	66			2,394	4,038
4	R\$ 9.600,00	R\$ 9.480,00	R\$ 120,00	158	160	2	0,301	2,079	2,199	3,982
5	R\$ 16.800,00	R\$ 19.200,00	R\$ 2.400,00	320	280	40			2,505	4,225
6	R\$ 23.400,00	R\$ 23.400,00	R\$ -	390	390	0			2,591	4,369
7	R\$ 24.000,00	R\$ 22.200,00	R\$ 1.800,00	370	400	30	1,477	3,255	2,568	4,38
8	R\$ 24.000,00	R\$ 32.100,00	R\$ 8.100,00	535	400	135	2,13	3,908	2,728	4,38
9	R\$ 42.000,00	R\$ 47.400,00	R\$ 5.400,00	790	700	90	1,954	3,732	2,898	4,623
10	R\$ 51.000,00	R\$ 61.200,00	R\$ 10.200,00	1020	850	170	2,23	4,009	3,009	4,708

Tabla 20- Etapa de Soldadura

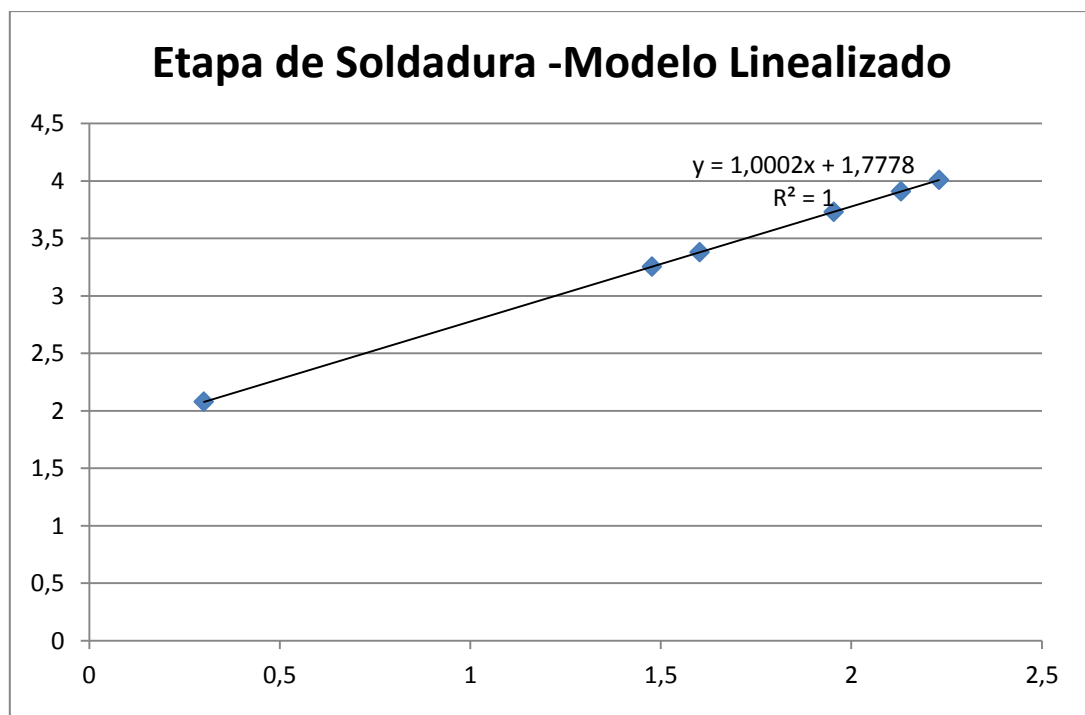


Gráfico 14- Etapa de Soldadura

Etapa de Acabado - Construcción del modelo $y=ax^n \rightarrow (y=\text{Diferencia entre coste previsto y real}; x=\text{diferencia entre horas previstas y horas trabajadas})$										
OF	Coste Real	Coste previsto	Diferencia entre Coste Previsto y Real	Horas Previstas	Horas trabajadas	Diferencia entre horas previstas y trabajadas	log (diferencia horas previstas-horas reales)	log (Diferencia coste previsto-coste real)	log(horas previstas)	log(Coste)
1	R\$ -	R\$ 3.180,00	R\$ 3.180,00	53	0	53			1,724	
2	R\$ 6.000,00	R\$ 8.040,00	R\$ 2.040,00	134	100	34	1,531	3,31	2,127	3,778
3	R\$ 540,00	R\$ 4.980,00	R\$ 4.440,00	83	9	74			1,919	2,732
4	R\$ 540,00	R\$ 1.560,00	R\$ 1.020,00	26	9	17	1,23	3,009	1,415	2,732
5	R\$ 5.400,00	R\$ 3.000,00	R\$ 2.400,00	50	90	40			1,699	3,732
6	R\$ 4.140,00	R\$ 4.200,00	R\$ 60,00	70	69	1			1,845	3,617
7	R\$ 3.000,00	R\$ 3.600,00	R\$ 600,00	60	50	10	1	2,778	1,778	3,477
8	R\$ 3.000,00	R\$ 4.560,00	R\$ 1.560,00	76	50	26	1,415	3,193	1,881	3,477
9	R\$ 3.000,00	R\$ 6.000,00	R\$ 3.000,00	100	50	50	1,699	3,477	2	3,477
10	R\$ 5.400,00	R\$ 6.000,00	R\$ 600,00	100	90	10	1	2,778	2	3,732

Tabla 21- Etapa de Acabado

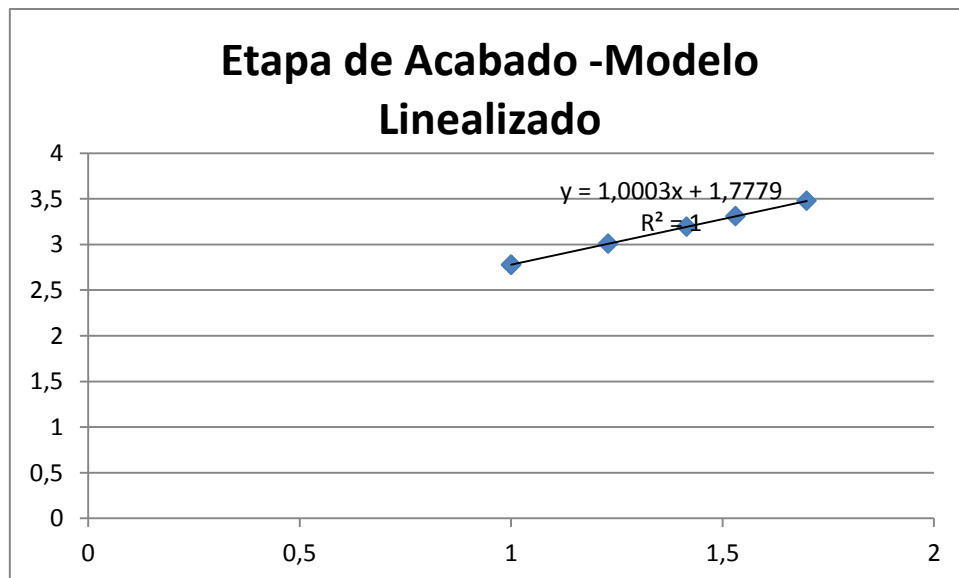


Gráfico 15- Etapa de Acabado

Etapa de Test y Pruebas - Construcción del modelo $y=ax^n \rightarrow (y=\text{Diferencia entre coste previsto y real}; x=\text{diferencia entre horas previstas y horas trabajadas})$										
OF	Coste Real	Coste previsto	Diferencia entre Coste Previsto y Real	Horas Previstas	Horas trabajadas	Diferencia entre horas previstas y trabajadas	log (diferencia horas previstas- horas reales)	log (Diferencia coste previsto- coste real)	log(horas previstas)	log(Coste)
1	R\$ 1.860,00	R\$ 5.340,00	R\$ 3.480,00	89	31	58	1,763428	3,541579244	1,949	
2	R\$ -	R\$ -	R\$ -	0	0	0				
3	R\$ 4.560,00	R\$ -	R\$ 4.560,00	55	76	21	1,3222193	3,658964843	1,74	3,659
4	R\$ 1.200,00	R\$ -	R\$ 1.200,00	26	20	6	0,7781513	3,079181246	1,415	3,079
5	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00	R\$ -	50	50	0			1,699	3,477
6	R\$ 2.700,00	R\$ 3.000,00	R\$ 300,00	50	45	5	0,69897	2,477121255	1,699	3,431
7	R\$ 1.200,00	R\$ 3.600,00	R\$ 2.400,00	60	20	40	1,60206	3,380211242	1,778	3,079
8	R\$ 1.200,00	R\$ 300,00	R\$ 900,00	5	20	15	1,1760913	2,954242509	0,699	3,079
9	R\$ 3.600,00	R\$ 9.000,00	R\$ 5.400,00	150	60	90	1,9542425	3,73239376	2,176	3,556
10	R\$ -	R\$ -	R\$ -	0	0	0				

Tabla 22- Etapa de Test y Pruebas

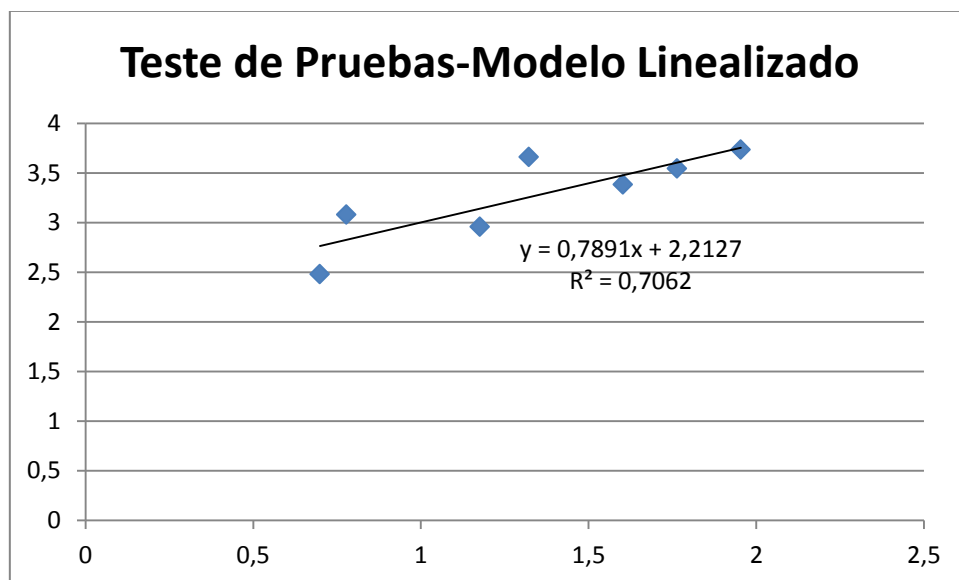


Gráfico 16- Etapa de Test y Pruebas

Como se puede observar en cada gráfico, las rectas se ajustaron bien a los datos y el coeficiente de correlación R^2 aproximadamente igual a 1, lo que refuerza y evidencia esa relación lineal. En cada recta, se observa que $n=1$, lo que indica que la ecuación original $y=ax^n$ se transforma en $y=x$, o sea, la

relación es lineal entre la diferencia (horas previstas-horas trabajadas) y (coste previsto-coste trabajado). Con eso, haciendo uso de la idea de valor esperado de BERTOLO (2018) es posible prever el coste real, teniendo las horas previstas y las horas trabajadas. Siendo así, fueron realizados nuevamente los gráficos colocando directamente “y” (diferencia coste previsto – coste real) en función de “x” (diferencia entre horas previstas – horas trabajadas) para comprobar la ecuación de las rectas formadas. Únicamente el último gráfico de Test y Pruebas, R^2 quedó distante de 1, por lo que en este caso el modelo no se aplica bien, esto coincide con la etapa en la que el coeficiente de variación es alto y complica la representatividad del modelo. Se insta a la empresa a mejorar las herramientas de calidad para tener mayor previsibilidad en la etapa de test y pruebas, ya que, estas pruebas y test son solicitadas o no por los clientes dependiendo del uso que se vaya a dar al equipo fabricado y, sobre todo, a la confianza o no en el proceso de fabricación de la empresa.

Con ello se comprobó que la recta con inclinación mayor corresponde al sector de calderería, de modo que se hace necesario invertir más en esta etapa para que disminuya la diferencia entre horas trabajadas y horas proyectadas. Siendo así, la propuesta para trabajar en ello en la empresa fue:

Brainstorming para obtener ideas con los equipos de presupuestos, producción, diseño, ingeniería y calidad para disminuir la diferencia entre las horas presupuestadas en la oferta comercial y las realmente trabajadas;

Cualificación de caldereros: La empresa comprobó a través del estudio, que las pérdidas ocasionadas por el sector de producción, en gran medida son atribuibles al sector de la calderería. Al trabajar en las causas, se comprueba que la formación de los trabajadores es escasa para la complejidad de los trabajos y los materiales. Al existir pocas empresas especializadas en la región, la empresa se ve obligada a formar a los propios trabajadores puesto que no se encuentran personas cualificadas en el área ni instituciones de enseñanza técnica pública o privada ofreciendo cursos en la región. Para ello, dos caldereros con más de 25 años de experiencia en el sector, fueron enviados por la matriz hasta la filial en Brasil, formando durante los primeros 3 meses de 2018 a los 12 trabajadores del área.

Gracias a este análisis y puesta en práctica de soluciones, las horas de exceso en calderería se han reducido un 30%, lejos aún del objetivo de productividad de la empresa pero obteniendo ya una mejora considerable, no únicamente en el sector, como también en las reparaciones y tiempos muertos derivados de los problemas en esta área.

5 Conclusiones

Los costes que presentar mayor peso en el presupuesto de los diferentes proyectos de la empresa Aguilar y Salas Brasil durante el año 2017 fueron el coste de compras y el coste de producción. Como hay variables relacionadas difíciles de estudiar en lo que concierne a la materia prima y estas compras son realizadas mayoritariamente por la matriz, fue colocado el foco del estudio en los costes de mano de obra de la producción.

En primer término, se concluye que existe una relación lineal entre el coste previsto y el coste real y la diferencia entre las horas previstas y las horas trabajadas, de modo que es posible obtener el valor esperado para el coste real basado en este modelo. Los sectores que tuvieron una mayor inclinación en la recta, indican mayor sensibilidad en los sectores de calderería y test y pruebas, permitiendo que la empresa coloque su objetivo en la mejora de sectores específicos con medidas directas como fue explicado en el punto anterior, mejorando considerablemente la productividad de la empresa. Con la estadística descriptiva, los sectores que tuvieron una mayor diferencia media entre el coste real y previsto fueron la calderería y las pruebas. Los sectores que presentaron un mayor coeficiente de variación fueron soldadura y preparación, sobre los cuales también es necesario aplicar medidas.

Las formas de actuación en los diferentes sectores han sido distintas basados en las desviaciones y en sus causas. El sector de la calderería ha aumentado la formación de sus trabajadores para reducir el exceso de horas, a la vez que se han aumentado los controles preventivos de calidad y medición para reducir la repetición de trabajos. En el sector de pruebas ha sido demostrado que la empresa coloca un número de horas excesivas en la oferta comercial que después no se traduce en horas reales, dejando a la empresa menos competitiva. Por ello, se ha aumentado la participación del departamento de gestión de la calidad y el departamento de presupuestos. El sector de soldadura funciona razonablemente bien, pero se han intensificado las reuniones entre ingeniería de soldadura y el director de operaciones debido al elevado coeficiente de variación. Este coeficiente de variación indica una cierta imprevisibilidad en los costes entre el coste real y previsto, siendo en esta etapa más difícil prever el coste. La empresa está evaluando estas informaciones para buscar las causas de la imprevisibilidad y actuar en consecuencia.

REFERENCIAS

1. BARBOSA, Janaína Medeiros Danta. Tesis de maestría. Disponible en:
 <ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/Janaina%20Medeiros%20Dantas%20Barbosa_DISSERT_51_168.pdf>, acceso en 10/05/2018.

2. GUEDES, Terezinha Aparecida; MARTINS, Ana Beatriz Tozzo; ACORSI, Clédina Regina Lonardan; JANEIRO, Vanderly. Estadística descriptiva. Disponible en:
 <http://www.each.usp.br/rvicente/Guedes_et al_Estatistica_Descritiva.pdf>, acceso en 06/03/2018.

3. Especialización. Disponible en:
 <<http://posgraduando.com/as-variaveis-quantitativas-e-qualitativas-e-os-testes-estatisticos/>>, acceso en 06/03/2018.

4. Regresión Lineal. Disponible en:
 <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1479289/mod_resource/content/0/regr_lin.pdf>, acceso en 06/03/2018.

5. BERTOLO, L.A. Análisis de riesgo de inversiones. Disponible en:
 <<http://www.bertolo.pro.br/AdminFin/AnallInvest/AnaliseDeRiscoNaAvaliacaoDeInvestimentos.pdf>>, acceso en 03/04/2018.

6. HELENE, O. Método de los mínimos cuadráticos con énfasis en varianzas y en recursos matriciales. Disponible en:
 <<http://www2.if.usp.br/~otaviano/cursosmmq/SlidesCursoMMQ13fev2014.pdf>>, acceso en 04/04/2018.

7. PORTAL ACTION. Disponible en:
 <<http://www.portalaction.com.br/analise-de-regressao/16-coeficiente-de-determinacao>>, acceso en 11/04/2018.

8. RIECHI, Jorge Luiz; TORMOS, Bernardo; HILLEBRAND, Marcos Vinicius Jacometo. Revista Produção Online; Florianópolis Vol. 17, Ed. 2, (2017): 667-691. Disponible en:
 <<https://search.proquest.com/openview/737d814502cb63b25b0bb6dd928dd8ff/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2042843>>, acceso en 12/04/2018.

9. SILVEIRA, Fernando Borges; SILVEIRA, Carlos Augusto. Dimensión de la flota por carretera: Optimización a través de la influencia de las variables bajo el prisma de programación lineal. Cuaderno científico Ceciesa- Gestão, v.3,n.1.2017. Disponible en:
 <<https://siaiap32.univali.br/seer/index.php/cccg/article/view/11521>>, acceso en 12/04/2018.

10. VIANA, Hebert Ricardo Garcia; RIBEIRO, José Luis Duarte. Elaboración y aplicación de un plan diretor de mantenimiento de uma empresa minera. Revista Gestão Industrial v.13, n.3.2017. Disponible en:

<<https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/3924>>, acceso en 11/04/2018.

11. CITISYSTEMS – Gráfico de Pareto, Disponible en:

<<https://www.citisystems.com.br/diagrama-de-pareto/>>, acceso en 10/05/2018.