

PLAN DE M&V

Recuperación de calor en horno industrial



Revisión 2

Montevideo, 28 de mayo de 2019

MIEM
Modelos de plan e informe de M&V

Plan de M&V – Recuperación de calor en horno industrial

Tabla de contenidos

1	Descripción de la Instalación y del Proyecto.....	3
2	Intención de la MMEE	3
2.1	Descripción de la MMEE (Medida de Mejora de Eficiencia Energética)	3
2.2	Ahorro de energía.....	4
2.3	Inventario de los equipos afectados.....	5
2.4	Ahorros esperados	6
3	Opción del IPMVP Seleccionada y Frontera de Medición	6
4	Línea Base: Periodo, Uso y Condiciones	7
4.1	Identificación del periodo de línea base	7
4.2	Datos de consumo de energía de línea base.....	8
4.3	Datos de variables que influyen la energía.....	10
4.4	Condiciones de operación	13
4.4.1	Operación.....	13
4.4.2	Estructura física.....	13
4.4.3	Gas.....	13
4.5	Efectos interactivos	14
5	Periodo de reporte	15
6	Bases de ajuste.....	15
7	Metodología de cálculo y procedimiento de análisis.....	15
7.1	Energía de línea base.....	15
7.2	Ajustes rutinarios.....	16
7.3	Ajustes no rutinarios	17
7.4	Cálculo de los ahorros.....	17
8	Precios de la energía	18
9	Especificaciones de los Medidores.....	19
9.1	Medidor de gas	19
9.2	Balanza	20
10	Responsabilidades de Monitoreo.....	20

11	Precisión esperada	21
11.1	Error de modelaje	21
11.2	Mediciones	21
11.3	Muestreo	21
11.4	Cálculo de incertidumbre esperada en ahorros	22
12	Presupuesto de la M&V	24
13	Formato del Informe de M&V	24
14	Garantía de calidad	25
	Apéndices	27
	Referencias	28

Nota:

Este ejemplo fue proporcionado por John Cowan y se utilizó en el curso de CMVP hasta 2014. Se actualizó a las definiciones de Conceptos básicos 2016 y Estadísticas e incertidumbre 2014 por Agenor García y Bruce Rowse, con estimaciones adicionales de algunos detalles no disponibles originalmente. También agradecemos a Andreas Hahn por sus contribuciones.

La redacción del caso presenta un Plan de M&V anterior a la implementación de la medida de mejora de eficiencia energética, siendo esto compatible con lo que se debe hacer como práctica normal.

El texto busca transmitir un buen ejemplo de trabajo con el Protocolo IPMVP, sin necesariamente ser la mejor de todas las posibles aplicaciones. El MIEM y los otros colaboradores no proporcionan garantía con respecto al contenido y no serán responsables de ningún perjuicio directo, incidental o consecuente, que puedan resultar del uso de la información o de los datos aquí contenidos.

1 Descripción de la Instalación y del Proyecto

El proyecto se va a llevar a cabo en una industria siderúrgica (COFARJ, en Río de Janeiro, Brasil), que fabrica productos de acero a partir de chatarra. El proceso evaluado en este proyecto fue el horno de precalentamiento utilizado para preparar los lingotes para la extrusión. Este proceso fue evaluado durante una auditoría energética realizada por CSE (2017), una ESCO que evaluó varias acciones de eficiencia energética para la empresa.

El horno tiene una capacidad de consumo de gas de 400 m³/h. El horno funciona continuamente las 24 horas del día, los siete días de la semana y, en promedio, consume poco menos de 300 m³/h de gas natural. La línea de suministro de gas al horno está equipada con un medidor de gas de buena calidad, mantenido por el departamento de mantenimiento de la compañía. Tiene una precisión de $\pm 1\%$ del valor medido.

La tasa de producción se registra mediante un sistema de pesaje automático para las piezas, que tiene una precisión de $\pm 1\%$ del valor medido + 3 dígitos menos significativos (dms = 0,1 t). Tanto el medidor como el sistema de pesaje se calibran cada seis meses. Los datos de producción y consumo de gas se archivan trimestralmente y se archivan durante 10 años.

El equipo del horno y sus operaciones se documentaron como parte de la auditoría energética.

2 Intención de la MMEE

2.1 Descripción de la MMEE (Medida de Mejora de Eficiencia Energética)

CSE ha verificado altas temperaturas en el escape del horno, que opera a 1.250°C. La materia prima y el aire de combustión ingresan al horno a temperatura ambiente, alrededor de 45°C. CSE garantiza que una unidad de recuperación de calor para precalentar el aire de combustión generará ahorros de alrededor de R\$75.000,00 por mes, reduciendo el consumo de energía en un 20% garantizado. El costo de la MMEE se estima en R\$3.000.000,00. La Figura 1 muestra el horno antes del proyecto:

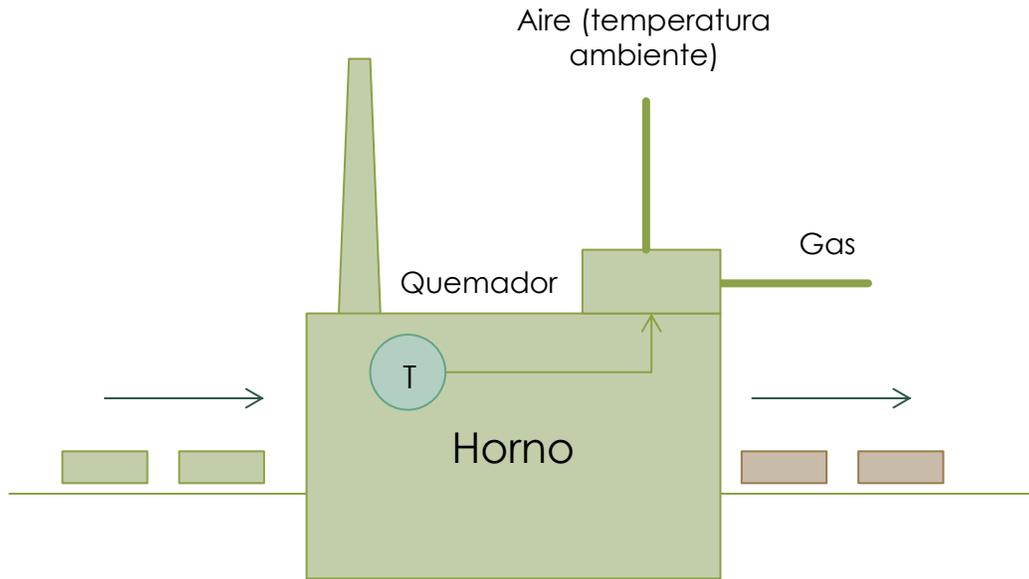


Figura 1 – Condiciones del horno en la línea de base

2.2 Ahorro de energía

Los cálculos realizados para dimensionar el intercambiador de calor estimaron que el aire que entra se puede precalentar a 550°C, lo que va a reducir el consumo de gas en al menos un 20%. La configuración final del horno se muestra en la Figura 2.

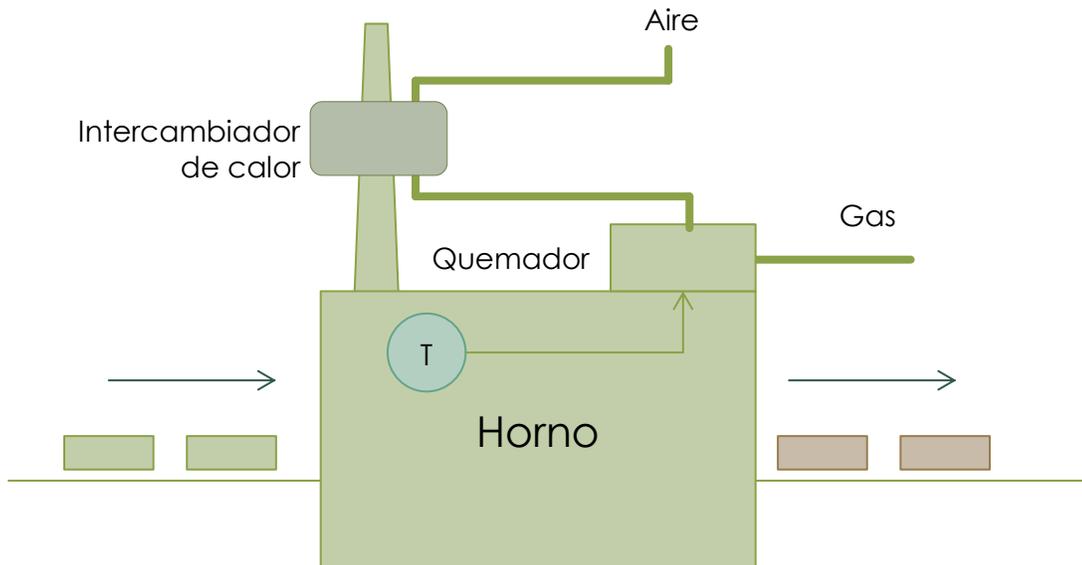


Figura 2 - Configuración del horno después de la instalación del intercambiador de calor

2.3 Inventario de los equipos afectados

Los equipos son:

- El horno y sus principales componentes:
 - El quemador, incluido el ventilador de suministro de aire
 - El controlador de temperatura interno del horno.
 - La chimenea, donde se instalará el intercambiador de calor
- Medidores que definirán el límite de medición:
 - El medidor de gas (Figura 3)
 - La balanza en línea que pesa las piezas que ingresan al horno (Figura 4).



Figura 3 – Medidor de gas



Figura 4 – Balanza en línea

Las características principales y las placas de los equipos se encuentran en el Apéndice 1 (CSE, 2017).

2.4 Ahorros esperados

El horno tiene un consumo promedio de casi 300 m³/h de gas, o cerca de 220.000 m³/mes, ya que el horno funciona las 24 horas del día, los 7 días de la semana, lo que representa un costo de aproximadamente R\$400.000,00 mensuales. Con el ahorro esperado del 20%, habrá una reducción de costos de R\$75.000,00 por mes, con un período de recuperación simple de alrededor de 3 años. La tabla a continuación resume las cifras:

Ahorros estimados

Consumo gas horno	288,4	m ³ /h	
	210,559	m ³ /mes	
Mes	730	h	
Tarifa de gas	1,77734	R\$/m ³	
Gasto	374.234	R\$/mes	
	4.490.809	R\$/año	
Año	8.760	h	
Inversión	3.000.000	R\$	
Ahorro estimado	20%		
Ahorro gas	57,7	m ³ /h	
	42.120	m ³ /mes	
	74.900	R\$/mes	
	898.000	R\$/año	
Retorno simple	3,3	año	

Las cifras se presentan con 3 significativos, que es la precisión del medidor de gas y de la balanza.

3 Opción del IPMVP Seleccionada y Frontera de Medición

Se utilizará la opción B del IPMVP: medición aislada de todos los parámetros, según los Conceptos Básicos del IPMVP 2016. La frontera estará definida por el medidor de gas en la entrada del horno y la balanza de producción (que será la variable

independiente), e involucrará todos los procesos y materiales que afectan el consumo de gas. La Figura 3 ilustra la definición de la frontera.

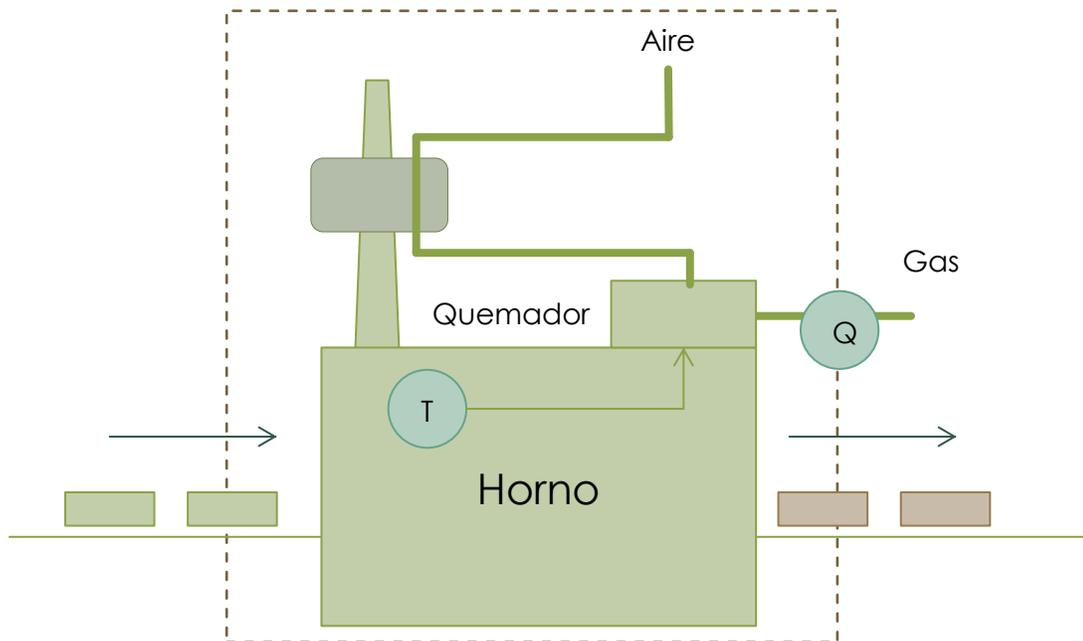


Figura 5 – Frontera de medición

4 Línea Base: Periodo, Uso y Condiciones

El período de la línea base se ha definido para permitir el desarrollo de un modelo con baja incertidumbre, que relaciona el consumo de gas con la producción del horno. Esto proporciona una mayor precisión para determinar el ahorro. Como la medición es continua, se ha adoptado un intervalo de una hora para medir los parámetros. Al realizar la medición durante una semana (o 168 horas), se ha desarrollado un modelo adecuado, como se muestra a continuación.

4.1 Identificación del periodo de línea base

Inicio: 18 de septiembre de 2017, lunes, a las 0:00

Final: 24 de septiembre de 2017, domingo, a las 24:00

Mediciones a cada hora, total de 168 mediciones.

4.2 Datos de consumo de energía de línea base

Día	Hora	Consumo [m³]
Lunes	1	286,2
Lunes	2	282,3
Lunes	3	288,6
Lunes	4	282,7
Lunes	5	262,0
Lunes	6	270,2
Lunes	7	294,7
Lunes	8	278,5
Lunes	9	302,2
Lunes	10	290,5
Lunes	11	293,8
Lunes	12	292,6
Lunes	13	283,9
Lunes	14	281,5
Lunes	15	264,4
Lunes	16	275,6
Lunes	17	241,0
Lunes	18	263,9
Lunes	19	240,3
Lunes	20	253,8
Lunes	21	258,5
Lunes	22	260,2
Lunes	23	298,0
Lunes	24	299,8

Día	Hora	Consumo [m³]
Martes	1	318,7
Martes	2	310,6
Martes	3	334,5
Martes	4	313,5
Martes	5	320,2
Martes	6	327,7
Martes	7	323,3
Martes	8	309,7
Martes	9	304,0
Martes	10	316,2
Martes	11	284,0
Martes	12	285,5
Martes	13	289,1
Martes	14	286,5
Martes	15	285,1
Martes	16	286,9
Martes	17	305,5
Martes	18	297,6
Martes	19	284,0
Martes	20	282,7
Martes	21	277,7
Martes	22	267,2
Martes	23	270,3
Martes	24	291,5

Día	Hora	Consumo [m³]
Miércoles	1	277,9
Miércoles	2	296,2
Miércoles	3	284,5
Miércoles	4	277,1
Miércoles	5	298,4
Miércoles	6	268,1
Miércoles	7	266,2
Miércoles	8	266,6
Miércoles	9	271,7
Miércoles	10	316,2
Miércoles	11	319,7
Miércoles	12	303,9
Miércoles	13	314,8
Miércoles	14	326,2
Miércoles	15	309,6
Miércoles	16	312,8
Miércoles	17	326,7
Miércoles	18	302,1
Miércoles	19	305,5
Miércoles	20	303,3
Miércoles	21	291,5
Miércoles	22	286,4
Miércoles	23	291,1
Miércoles	24	290,2

Día	Hora	Consumo [m³]
Jueves	1	267,3
Jueves	2	286,7
Jueves	3	297,3
Jueves	4	285,7
Jueves	5	287,3
Jueves	6	291,7
Jueves	7	292,3
Jueves	8	276,3
Jueves	9	267,8
Jueves	10	274,8
Jueves	11	289,8
Jueves	12	288,0
Jueves	13	286,9
Jueves	14	285,7
Jueves	15	282,6
Jueves	16	294,0
Jueves	17	293,5
Jueves	18	264,6
Jueves	19	259,8
Jueves	20	272,9
Jueves	21	267,0
Jueves	22	248,6
Jueves	23	244,3
Jueves	24	246,0

Día	Hora	Consumo [m³]
Viernes	1	259,2
Viernes	2	275,2
Viernes	3	247,1
Viernes	4	304,4
Viernes	5	308,7
Viernes	6	300,4
Viernes	7	308,3
Viernes	8	326,5
Viernes	9	326,6
Viernes	10	313,4
Viernes	11	321,0
Viernes	12	333,6
Viernes	13	337,5
Viernes	14	309,3
Viernes	15	302,6
Viernes	16	320,0
Viernes	17	290,7
Viernes	18	298,1
Viernes	19	276,8
Viernes	20	299,5
Viernes	21	274,8
Viernes	22	292,9
Viernes	23	293,7
Viernes	24	289,0

Día	Hora	Consumo [m³]
Sábado	1	285,5
Sábado	2	283,3
Sábado	3	278,9
Sábado	4	276,8
Sábado	5	275,7
Sábado	6	280,6
Sábado	7	285,8
Sábado	8	290,8
Sábado	9	274,4
Sábado	10	298,4
Sábado	11	283,5
Sábado	12	291,5
Sábado	13	290,2
Sábado	14	282,0
Sábado	15	268,8
Sábado	16	271,7
Sábado	17	276,2
Sábado	18	264,9
Sábado	19	255,0
Sábado	20	254,6
Sábado	21	275,8
Sábado	22	259,9
Sábado	23	247,4
Sábado	24	305,9

Día	Hora	Consumo [m³]
Domingo	1	303,7
Domingo	2	311,3
Domingo	3	316,4
Domingo	4	319,4
Domingo	5	304,8
Domingo	6	278,8
Domingo	7	288,4
Domingo	8	277,5
Domingo	9	283,8
Domingo	10	275,9
Domingo	11	295,2
Domingo	12	305,7
Domingo	13	290,7
Domingo	14	278,8
Domingo	15	294,6
Domingo	16	292,0
Domingo	17	280,2
Domingo	18	284,2
Domingo	19	283,2
Domingo	20	278,0
Domingo	21	292,7
Domingo	22	283,3
Domingo	23	301,8
Domingo	24	295,2

4.3 Datos de variables que influyen la energía

La tasa de producción, medida en toneladas por hora, se considerará la variable independiente, ya que explica gran parte de la variación de energía y se mide simultáneamente con el consumo de gas.

Día	Hora	Producción [t]
Lunes	1	15,1
Lunes	2	14,6
Lunes	3	14,9
Lunes	4	14,6
Lunes	5	13,8
Lunes	6	14,1
Lunes	7	14,9
Lunes	8	14,3
Lunes	9	15,1
Lunes	10	14,6
Lunes	11	14,6
Lunes	12	15,4
Lunes	13	13,8
Lunes	14	13,5
Lunes	15	12,7
Lunes	16	13,0
Lunes	17	12,2
Lunes	18	12,4
Lunes	19	11,9
Lunes	20	13,2

Día	Hora	Producción [t]
Martes	1	16,5
Martes	2	16,2
Martes	3	17,8
Martes	4	17,3
Martes	5	17,0
Martes	6	17,6
Martes	7	18,1
Martes	8	15,9
Martes	9	16,8
Martes	10	16,5
Martes	11	14,6
Martes	12	15,1
Martes	13	14,3
Martes	14	14,9
Martes	15	14,1
Martes	16	14,6
Martes	17	15,7
Martes	18	15,1
Martes	19	14,6
Martes	20	14,9

Día	Hora	Producción [t]
Miércoles	1	14,3
Miércoles	2	15,1
Miércoles	3	14,6
Miércoles	4	14,6
Miércoles	5	15,4
Miércoles	6	13,8
Miércoles	7	13,5
Miércoles	8	12,7
Miércoles	9	13,0
Miércoles	10	16,2
Miércoles	11	16,5
Miércoles	12	16,2
Miércoles	13	17,8
Miércoles	14	17,3
Miércoles	15	17,0
Miércoles	16	17,6
Miércoles	17	18,1
Miércoles	18	15,9
Miércoles	19	16,8
Miércoles	20	16,5

Día	Hora	Producción [t]
Jueves	1	14,1
Jueves	2	14,6
Jueves	3	15,7
Jueves	4	15,1
Jueves	5	14,6
Jueves	6	14,9
Jueves	7	14,6
Jueves	8	13,8
Jueves	9	14,1
Jueves	10	13,8
Jueves	11	14,1
Jueves	12	14,9
Jueves	13	14,3
Jueves	14	15,1
Jueves	15	14,6
Jueves	16	14,6
Jueves	17	15,4
Jueves	18	13,8
Jueves	19	13,5
Jueves	20	12,7

Día	Hora	Producción [t]
Lunes	21	13,0
Lunes	22	12,7
Lunes	23	15,9
Lunes	24	16,2

Día	Hora	Producción [t]
Martes	21	14,6
Martes	22	13,8
Martes	23	14,1
Martes	24	14,9

Día	Hora	Producción [t]
Miércoles	21	14,6
Miércoles	22	15,1
Miércoles	23	14,3
Miércoles	24	14,9

Día	Hora	Producción [t]
Jueves	21	13,0
Jueves	22	12,2
Jueves	23	12,4
Jueves	24	11,9

Día	Hora	Producción [t]
Viernes	1	13,2
Viernes	2	13,0
Viernes	3	12,7
Viernes	4	15,9
Viernes	5	16,2
Viernes	6	16,5
Viernes	7	16,2
Viernes	8	17,8
Viernes	9	17,3
Viernes	10	17,0
Viernes	11	17,6
Viernes	12	18,1
Viernes	13	18,1
Viernes	14	15,9
Viernes	15	16,8
Viernes	16	16,5
Viernes	17	14,6
Viernes	18	15,1
Viernes	19	14,3

Día	Hora	Producción [t]
Sábado	1	14,6
Sábado	2	14,9
Sábado	3	14,6
Sábado	4	13,8
Sábado	5	14,1
Sábado	6	13,8
Sábado	7	14,1
Sábado	8	14,9
Sábado	9	14,3
Sábado	10	15,1
Sábado	11	14,6
Sábado	12	14,6
Sábado	13	15,4
Sábado	14	13,8
Sábado	15	13,5
Sábado	16	12,7
Sábado	17	13,0
Sábado	18	12,2
Sábado	19	12,4

Día	Hora	Producción [t]
Domingo	1	16,2
Domingo	2	16,5
Domingo	3	16,2
Domingo	4	16,8
Domingo	5	16,5
Domingo	6	14,6
Domingo	7	15,1
Domingo	8	14,3
Domingo	9	14,9
Domingo	10	14,1
Domingo	11	14,6
Domingo	12	15,7
Domingo	13	15,1
Domingo	14	14,6
Domingo	15	14,9
Domingo	16	14,6
Domingo	17	13,8
Domingo	18	14,1
Domingo	19	13,8

Día	Hora	Producción [t]
Viernes	20	14,9
Viernes	21	14,1
Viernes	22	14,6
Viernes	23	15,7
Viernes	24	15,1

Día	Hora	Producción [t]
Sábado	20	11,9
Sábado	21	13,2
Sábado	22	13,0
Sábado	23	12,7
Sábado	24	15,9

Día	Hora	Producción [t]
Domingo	20	14,1
Domingo	21	14,9
Domingo	22	14,3
Domingo	23	15,1
Domingo	24	14,6

La Figura 6 a continuación presenta la variación del gas asociada con la variación de producción.

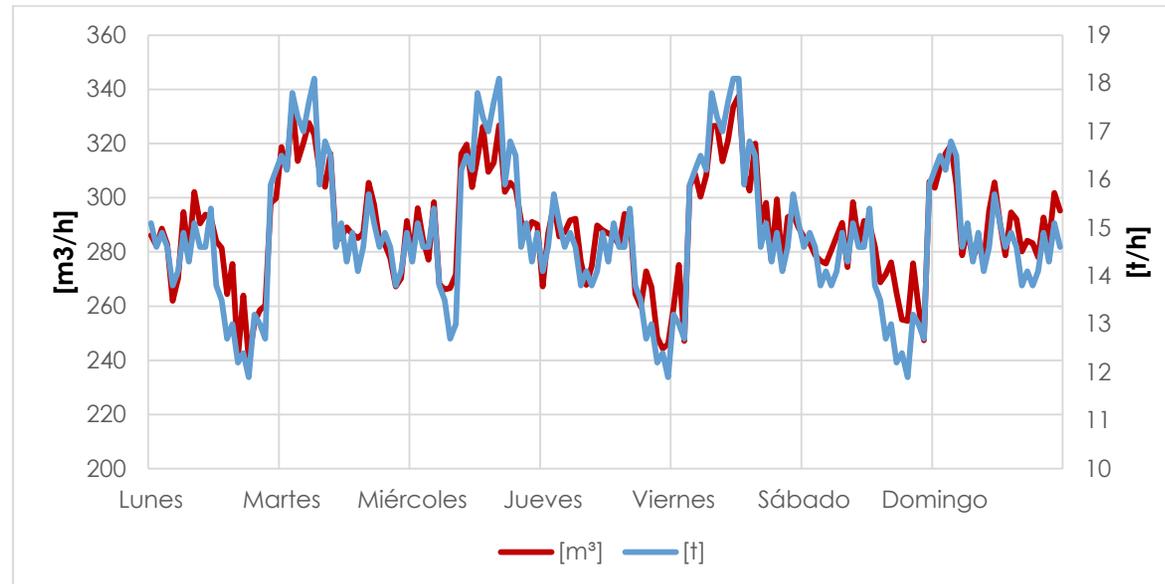


Figura 6 – Consumo de gas y producción de línea base

4.4 Condiciones de operación

A continuación, se detallan los factores estáticos que se deben monitorear durante el período de reporte para que se puedan hacer los ajustes de línea base (ALB), si cambian significativamente.

4.4.1 Operación

- El horno funciona las 24 horas del día, los 7 días de la semana (los tiempos de calentamiento y enfriamiento del horno afectan significativamente el consumo de energía)
- Temperatura de funcionamiento del horno: 1250°C.
- Sistema de control de temperatura automático, que consta de sensores de temperatura, transmisores, controlador y regulador de flujo de gas
- Quemador de gas, con mantenimiento preventivo cada seis meses, incluida la calibración de la combustión (exceso de aire al 5%) y un análisis de los gases de combustión producidos (CSE, 2017b)
- La producción varía de 10 a 20 toneladas por hora
- Los artículos que se calientan son lingotes de acero al carbono de 300 kg, con composición uniforme.
- La temperatura ambiente, característica de ambiente industrial, de cerca de 45°C, no fue considerada variable independiente, ya que la variación de la producción ya proporcionó una incertidumbre aceptable.

4.4.2 Estructura física

- El horno está aislado de acuerdo con la documentación fotográfica adjunta (CSE, 2017a)
- Puertas de entrada y salida de acuerdo con la documentación fotográfica adjunta (CSE, 2017a).

4.4.3 Gas

- Gas natural con poder calorífico de 9.400 kcal/m³ (39.348,4 kJ/m³ o 10.932 kWh/m³) a 293,15°K (20°C) y 101,325 Pa (1 atm) de presión.

4.5 Efectos interactivos

Hay un efecto interactivo con el ventilador del quemador. El ventilador tendrá una mayor caída de presión causada por los ductos que pasan a través del intercambiador de calor. Para estimar la energía adicional que se utilizó, se midió la potencia en la línea base y se realizarán cálculos para estimar la potencia después de la implementación de la MMEE, como se muestra en la tabla a continuación:

Línea base

Potencia nominal	10	hp
	7,46	kW
Potencia medida	5,26	kW
Estimación de la eficiencia del motor en condiciones de carga ¹	88,0%	
Estimación de potencia mecánica	4,63	kW
Estimación de la eficiencia del ventilador ²	60%	
Potencia útil del ventilador	2,78	kW
Flujo de gas	0,92	m ³ /s
Pérdida de presión	3,02	kPa
	308	mmH ₂ O

Estimación del periodo de reporte

Estimación de la pérdida de presión agregada ³	100	mmH ₂ O
Nueva pérdida de presión	408	mmH ₂ O
	4,00	kPa
Potencia útil del ventilador	3,68	kW
Estimación de potencia mecánica	6,13	kW
Carga del motor	83%	
Estimación de la eficiencia del motor	88%	
Potencia del motor	6,97	kW

Estimación del efecto interactivo

Potencia agregada	1,71	kW		
-------------------	------	----	--	--

¹ Esta estimación fue hecha con base en curva estándar de motores.

² Ídem, para ventiladores.

³ Estimación con base en el proyecto del ducto de aire del intercambiador de calor.

<i>Energía mensual</i>	1,23	MWh		
<i>Costo mensual</i>	Horas (h)	Consumo (MWh)	Tarifa (R\$/MWh)	Costo (R\$)
<i>Punta</i>	66	0,11	460,12	51,9
<i>Fuera punta</i>	654	1,12	326,14	364,6
<i>Total</i>	720	1,23		416,5

Como se ve, el consumo de energía adicional es muy pequeño en comparación con el ahorro de gas esperado (R\$75.000,00 por mes) y puede ser despreciado.

5 Periodo de reporte

El período de reporte se ejecutará durante 1 mes después de la implementación y verificación operativa de la MMEE. Se realizarán mediciones horarias de la energía (gas) consumida y la producción, y los ahorros se calcularán cada hora utilizando el modelo de línea base definido.

También se tomará una medida de la potencia en el ventilador del motor para verificar el efecto interactivo. Sin embargo, como este efecto es muy pequeño en comparación con el ahorro de gas, se considerará una estimación.

Como el horno tiene una operación estable que varía poco, un mes es lo suficientemente largo como para identificar claramente los resultados de la MMEE.

6 Bases de ajuste

El consumo de energía de línea de base debe ajustarse a las condiciones del período de reporte, caracterizando los ahorros como energía evitada.

No se espera que los factores estáticos descritos anteriormente varíen durante el período de reporte. Sin embargo, si cambian, su impacto en el ahorro se tendrá en cuenta a través de procedimientos de ajuste no rutinarios apropiados.

7 Metodología de cálculo y procedimiento de análisis

7.1 Energía de línea base

Los valores promedios y otros parámetros obtenidos con los datos de línea base fueron:

Producción	Consumo gas
-------------------	--------------------

	[t]	[m ³]
Total	2.491	48.457
Promedio	14,8	288,4
Máximo	18,1	337,5
Mínimo	11,9	240,3
Desviación estándar	1,4	19,9
CV	10%	7%
Número de mediciones	168	168

7.2 Ajustes rutinarios

Los ajustes de rutina de la energía de línea base a las condiciones del período de reporte se realizarán de acuerdo con el modelo definido a continuación mediante un análisis de regresión lineal de los datos:

$$E_{LB} = 13,0 x + 95,9$$

dónde:

E_{LB}	Consumo de gas	m ³ /h
x	Tasa de producción	t/h
13,0	Coefficiente de x (pendiente)	m ³ /h/t
95,9	Intersección	m ³ /h

Los límites del modelo deben considerarse como los valores mínimos y máximos medidos: 11,9 y 18,1 toneladas / hora.

Los parámetros de la regresión lineal son:

Parámetro	Descripción	Valor	Recomendación del IPMVP
R ²	Coefficiente de determinación	0,8817	>= 0.75
CV _{rmse}	Coefficiente de variación del error medio cuadrático	2,4%	<= 20%
Estad t	Estad. t de x (pendiente)	35,2	>= 2
Estad t	Estad. t de carga base (intersección)	17,4	>= 2
RMSE	Raíz del error medio cuadrático	6,88	< 28,8 (ahorro/2)
Sesgo	(Suma proyección – Suma mediciones) / Suma mediciones	9,87 x 10 ⁻¹⁶	< 0,005%

La Figura 7 a continuación presenta los valores medidos y el modelo lineal.

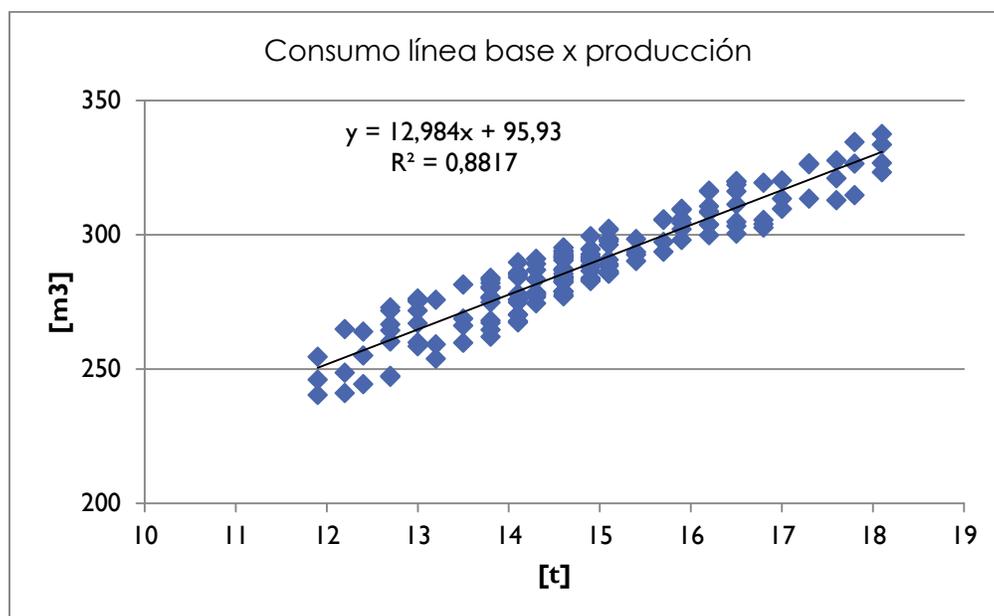


Figura 7 – Modelo lineal de línea base

7.3 Ajustes no rutinarios

En caso de cambios en uno o más de los factores estáticos definidos en el punto 4.4 anterior, se realizará un ajuste de línea base a través de cálculos de ingeniería, y se respaldará con mediciones según sea necesario. El modelo de línea base presentado en el punto 7.2 anterior se ajustará a las nuevas condiciones.

Los ajustes se pueden definir como temporales (aplicables solo a una parte del período de reporte) o permanentes (permanecen vigentes durante el resto del periodo de reporte).

7.4 Cálculo de los ahorros

El ahorro se calculará de acuerdo con la Ecuación 4 de los Conceptos Básicos del IPMVP 2016:

Energía evitada = Energía de línea base ajustada – Energía del periodo de reporte ± Ajustes no rutinarios a las condiciones del periodo de reporte

o, en forma simplificada:

$$EE = ELBAj - EPR \pm AjNR$$

La energía de línea base ajustada se obtiene aplicando los valores de la producción en el periodo de reporte (variable independiente) en el modelo desarrollado en el ítem 7.2

8 Precios de la energía

Compañía de gas	CEGAS	
Número del medidor	12345	
Medidor	Dresser series C	SN 123456

La compañía de gas suministra gas bajo una tarifa de bloque decreciente, como se describe a continuación.

De m ³ /mes	A m ³ /mes	Costo R\$/m ³
0	200	\$ 2,8069
201	2.000	\$ 2,7171
2.001	10.000	\$ 2,6631
10.001	50.000	\$ 2,3688
50.001	100.000	\$ 2,1924
100.001	300.000	\$ 2,0042
300.001	600.000	\$ 1,7814
600.001	1.500.000	\$ 1,7756
1.500.001	3.000.000	\$ 1,7593
3.000.000		\$ 1,7042

El consumo de gas de la compañía, incluido el del horno (aproximadamente 210.000 m³/mes), varía de 550.000 m³/mes a 780.000 m³/mes. La CSE acordó con COFARJ que los ahorros, de alrededor de 42.000 m³/mes, se valorarían de la siguiente manera:

- 30% de los ahorros valorados en la banda arancelaria de 300.001 a 600.000 m³/mes
- 70% de los ahorros valuados en la banda arancelaria de 600.001 a 1.500.000 m³/mes

Esto es equivalente a R\$1,7773/m³ a la tasa arancelaria actual. Si la tarifa varía durante el período de reporte, la tarifa real utilizada por la compañía de gas se utilizará para determinar el valor del ahorro.

Esta regla fue basada en la tabla a continuación, que resultó en un costo promedio para el ahorro muy aproximado.

	Línea base		Estimación pós MMEE	
Consumo	550.000	780.000	507.888	737.888
Banda 1	558,57	558,57	558,57	558,57
Banda 2	4.888,06	4.888,06	4.888,06	4.888,06
Banda 3	21.302,14	21.302,14	21.302,14	21.302,14
Banda 4	94.749,63	94.749,63	94.749,63	94.749,63
Banda 5	109.617,81	109.617,81	109.617,81	109.617,81
Banda 6	400.838,00	400.838,00	400.838,00	400.838,00
Banda 7	445.348,22	534.418,22	370.330,43	534.418,22
Banda 8		319.606,22		244.832,69
Total	1.077.302,43	1.485.978,65	1.002.284,64	1.411.205,11
Precio promedio	1,9587	1,9051	1,9734	1,9125
Ahorro			75.017,78	74.773,54
Precio promedio			1,7814	1,7756
				1,7785

Los precios de la electricidad, para estimar el efecto interactivo sobre el motor del ventilador, se valorarán con la tarifa del servicio eléctrico local:

Tarifa (R\$/MWh)	
Punta	460,12
Fuera de punta	326,14

Las horas pico se consideran en los días hábiles de 5:30 p.m. a 8:30 p.m.

9 Especificaciones de los Medidores

9.1 Medidor de gas

Tipo de medidor	Medidor rotativo de desplazamiento positivo
Fabricante	Dresser
Modelo	Serie C Modelo G250
Operación	Funciona mediante desplazamiento positivo de tipo rotativo con dos impulsores de precisión de doble lóbulo dentro de una cámara de medición rígida
Especificaciones del medidor	Capacidad 400 m ³ /h, cobertura 1:160, 1 pulso / m ³
Precisión	80 a 400 m ³ /h: ± 1% 2,5 a 80 m ³ /h: ± 2%
Lectura del medidor y protocolo	Un codificador utiliza tres sensores ópticos para

testigo	detectar la luz que pasa a través de un disco ranurado. La luz detectada a través del disco se convierte a un valor numérico usando el código gris. El valor numérico se transmite a través de un cable en serie.
Procedimiento de puesta en marcha del medidor	El medidor se suministra con certificado de calibración de fábrica (en apéndice). Después de la instalación, se aplicará un volumen conocido para verificar la precisión.
Procedimiento de calibración	Se enviará para calibración externa después de un año de operación en un laboratorio acreditado. El intervalo de calibración se ajustará de acuerdo con el desempeño del medidor.
Método para manejar datos perdidos	Se aceptará una tasa de pérdida del 3% de los datos. Siendo mayor, el período será desconsiderado y el medidor reparado.

9.2 Balanza

Tipo de medidor	Balanza integradora con celdas de carga
Fabricante	Alfa Instrumentos
Modelo	Tetracell
Operación	4 celdas de carga
Especificaciones del medidor	Balanza de funcionamiento en cinta transportadora, con capacidad para 20 t/h.
Precisión	1% de valor medido + 3 x 0,1 t
Lectura del medidor y protocolo testigo	Cada pulso corresponde a 0,1 t
Procedimiento de puesta en marcha del medidor	Suministrado con pesos y sistema de calibración
Procedimiento de calibración	La calibración automática se realiza a diario conforme el procedimiento del fabricante por el supervisor de mantenimiento.
Método para manejar datos perdidos.	Una tasa de pérdida de hasta 3% de los datos es aceptable. Si es más grande, las mediciones serán descartadas y el medidor reparado.

10 Responsabilidades de Monitoreo

Las responsabilidades generales de este Plan y su aplicación se encuentran en la tabla a continuación:

Responsabilidad general por la M&V	João de Souza	Ingeniero de Mantenimiento
CMVP Líder	Ernesto da Anuniação	Ingeniero CSE
Autor del plan de Medida y Verificación	Ernesto da Anuniação	Ingeniero CSE
Informes de M&V	Ernesto da Anuniação	Ingeniero CSE

Las responsabilidades para obtener los datos y seguir las condiciones de desempeño:

Datos	Responsabilidad	Periodo
Plan de M&V	Ingeniero de Mantenimiento	Mensual
Datos de energía	Supervisor de mantenimiento	Diario
Variables independientes	Supervisor de mantenimiento	Diario
Factores estáticos	Ingeniero de Mantenimiento	Mensual

11 Precisión esperada

Las incertidumbres siguientes se calcularon con un nivel de confianza del 90%. Los cálculos se realizaron de acuerdo con el documento "Estadísticas e incertidumbre para el IPMVP" (EVO, 2014).

11.1 Error de modelaje

La incertidumbre estándar en el modelo de regresión es 6,88 m³/h (ítem 7.2).

11.2 Mediciones

Las precisiones de los medidores se muestran arriba. La medición de la producción afecta el consumo de la línea de base proyectada y la medición del gas afecta el valor de consumo en el período de reporte.

11.3 Muestreo

Como el consumo y la producción se medirán continuamente, los errores de muestreo no se considerarán.

11.4 Cálculo de incertidumbre esperada en ahorros

El ahorro se calculará como se muestra en 7.4 más arriba.

$$EE = ELBAj - EPR \pm AjNR$$

Siguiendo el Estadística e Incertidumbre para el IPMVP, y sin considerar los ajustes no rutinarios

$$EE(EA) = \sqrt{EE(ELBAj)^2 + EE(EPR)^2}$$

El error estándar de la línea de base ajustada $EE(ELBAj)$ se calcula combinando el error estándar de la regresión con el error estándar que surge del error en la medición de la variable independiente en el período del informe: $EE(ELBAj) = \sqrt{EE(Regresión)^2 + EE(Medición)^2}$

El error estándar en el período de reporte es el del medidor de gas.

Las siguientes tablas resumen la determinación de la incertidumbre de acuerdo con Estadísticas e Incertidumbre para IPMVP, 2014:

- Incertidumbre de modelaje

Incertidumbre estándar del modelo de línea base	Error est de y	6,88	m ³ /h
Incertidumbre del modelo del periodo de reporte	Sin modelo	0	m ³ /h

- Incertidumbre de medición
 - Incertidumbre de la medición en la línea base

El error de medición de la línea base para el consumo de gas se deriva del modelo de línea base = Error en la producción promedio (t) x pendiente del modelo de regresión (m³/h/t).

Producción promedio	14,83	t
Error de medición en la producción	0,45	t
Pendiente del modelo de regresión	12,98	m ³ /h/t
Incertidumbre de medición en la línea base	5,82	m ³ /h
divisor t	1,00	Incertidumbre de medición es estándar
Incertidumbre estándar de la medición	5,82	m ³ /h

- Incertidumbre de medición del periodo de reporte

La incertidumbre en la medición del período de reporte es el error en la medición de gas:

Consumo de gas promedio en la línea base	288,4	m ³ /h
Ahorro garantizado	20%	
Consumo esperado promedio en el periodo de reporte	230,7	m ³ /h
Error del medidor de gas	2,31	m ³ /h
divisor t	1,96	
Incertidumbre estándar de medición	1,18	m ³ /h

- Componentes de la incertidumbre

Componente de incertidumbre	Línea de base	Periodo de reporte
Error de modelaje	S	N
Error de medición	S	S
Error de muestreo	N	N
Error de estimación	N	N

Combinando los elementos de incertidumbre para determinar el error estándar en el uso de energía evitada:

Periodo	Error de modelaje	Error de medición	Error general [m ³ /h]
Línea de base	6,88	5,82	9,01
Reporte	0	1,18	1,18
Ahorro			9,08

Determinación de la incertidumbre mensual general a la tasa de ahorro esperada:

Ahorro mensual esperado

Ahorro garantizado mensual	20%	
Ahorro promedio por hora esperado	57,69	m ³ /h
Número de horas al mes	730	h

Ahorro mensual esperado	42.112	m ³
-------------------------	--------	----------------

Incertidumbre estándar en un mes

Número de periodos	730	
Incertidumbre estándar en un mes	245,5	m ³

Incertidumbre en el nivel de confianza deseado

Nivel de confianza	90%	
Valor t	1,65	
Incertidumbre general del ahorro	404,4	m ³
Incertidumbre relativa	1,0%	

La Estadística e incertidumbre para el IPMVP requiere que la incertidumbre estándar, 245.5 m³/mes, sea menor a la mitad de los ahorros esperados, que son 41.500 m³/mes. Este es el caso. Por lo tanto, se cumplen los requisitos de IPMVP.

12 Presupuesto de la M&V

Debido a que los medidores ya están instalados y los datos ya son normalmente recolectados por el personal de operación, los costos se refieren solo a la ejecución del Plan de Medida y Verificación y el Informes cada mes.

<i>Línea de base (Plan de M&V)</i>	R\$20.000,00
<i>Periodo de reporte (Informe de M&V)</i>	R\$5.000,00

13 Formato del Informe de M&V

El Informe de M&V consistirá en los siguientes temas, tal como se indica en el "Conceptos Básicos del IPMVP 2016" y será emitido después de las mediciones predichas en el ítem 5:

- 1 Contexto del proyecto
Descripción sumaria de la instalación y del horno objeto del proyecto.
- 2 Descripción de la MMEE
Descripción sumaria de la medida de eficiencia energética y valores estimados de ahorro.
- 3 Opción de M&V elegida

Descripción de la Opción B elegida, con sus características principales.

4 Datos del período de reporte

En este ítem se presentan los datos medidos y utilizados en el cálculo del ahorro:

- i) Fechas de inicio y finalización
- ii) Consumo de energía
- iii) Variables independientes
- iv) Factores estáticos

5 Inspecciones realizadas

Descripción de las inspecciones realizadas para comprobar las condiciones de funcionamiento del horno.

6 Metodología y cálculo del ahorro

Descripción y cálculo del ahorro conforme la prescripción de este plan.

7 Fuentes de datos y suposiciones

Descripción de las fuentes de los datos utilizados en los cálculos y suposiciones.

8 Ajustes realizados

Descripción de eventuales ajustes realizados en los datos brutos de medición.

9 Tarifas de la compañía de energía

Tarifas actuales utilizadas para el cálculo del ahorro monetario.

10 Ahorros energético y monetario

Valores encontrados de los ahorros y comparación con las estimaciones de ingeniería en el período anterior a la MMEE.

14 Garantía de calidad

El siguiente procedimiento se utilizará para garantizar la calidad de los cálculos de ahorro de energía y todas las demás actividades relacionadas para determinar los ahorros.

- Solo los profesionales certificadas en medición y verificación (CMVP) pueden calcular ahorros y ajustes. Además, todos los cálculos de ahorro se basarán en principios fundamentales de ingeniería y se ejecutarán según el

mejor conocimiento de los profesionales involucrados. Cada cálculo será verificado por otra persona que conozca el proyecto y tenga las habilidades necesarias.

- Todos los cálculos de ahorro se basarán en datos de energía (gas natural) y de volumen de producción (peso) medidos por medidores calibrados según el estándar nacional.
- Se controlarán los factores estáticos como se indica en el ítem 10 y se enviará un aviso de cambios significativos al profesional acreditado por CMVP para determinar los impactos directos e indirectos sobre los ahorros proyectados, y para hacer los ajustes necesarios a la línea de base y determinación de ahorros.
- Para minimizar los errores en los cálculos de ahorro, los cálculos deben verificarse dos veces. La segunda verificación será realizada por otro CMVP.

Apéndices

1. CSE: Diagnóstico energético en COFARJ, 2017.
2. CSE: Registro fotográfico de las condiciones de aislación del horno, 2017a.
3. CSE: Informe de análisis de la combustión del horno, 2017b.
4. CSE: Planilla de cálculos (Excel®) de este Plan de M&V. 2017c.
5. DRESSER: Dresser Series C Rotary Meter.
[http://www.meterbuy.com/fileadmin/user_upload/Data_sheets/141110_Imbema - Datasheet Dresser Roots Series C Rotary Meter Brochure R1.pdf](http://www.meterbuy.com/fileadmin/user_upload/Data_sheets/141110_Imbema_-_Datasheet_Dresser_Roots_Series_C_Rotary_Meter_Brochure_R1.pdf).
Accedido en octubre.2017.
6. ALFA INSTRUMENTOS: Balanza integradora.
<http://www.alfainstrumentos.com.br/wp-content/uploads/2018/02/Folder-Tetracel-0559AF00.pdf>. Accedido en octubre.2017.
7. DRESSER. Certificado de calibración de medidor de gas. 2017a.
8. ALFA INSTRUMENTOS. Procedimiento de calibración de la balanza. 2017a.

Referencias

EVO – Efficiency Valuation Organization. **Estadística e Incertidumbre para el IPMVP**. Junio 2014. EVO 10100 – 1:2014.

EVO – Efficiency Valuation Organization. **Conceptos Básicos del IPMVP**. Octubre. 2016. EVO 10000 – 1:2016.