



**Centro de Capacitación e
Investigación del Plástico**





INSTITUTO DE
CAPACITACIÓN
E INVESTIGACIÓN
DEL PLÁSTICO Y
DEL CAUCHO

Monitoreo remoto: una herramienta para incrementar la productividad y la eficiencia energética de los procesos

A decorative horizontal bar composed of seven colored segments: light blue, teal, dark teal, light green, yellow, purple, and dark blue.

Ph.D Omar Augusto Estrada Ramirez

Docente:

Ph. D. Omar Augusto Estrada

Hoja de vida detallada



- CEO sospol s.a.s.
- Investigador Senior Externo del ICIPC.
- Investigador Senior en el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología de Colombia - SNCTel
- Ingeniero Químico de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Especialista en Procesos de Transformación del Plástico y del Caucho y Magíster en Ingeniería de Procesamiento de Polímeros del programa en convenio entre la Universidad EAFIT y el ICIPC.
- Doctor en Ingeniería con énfasis en Sistemas Energéticos de la Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas.
- Co-inventor de varias patentes otorgadas en Estados Unidos y patentes PCT.
- Coautor de software especializado del ICIPC con registros de soporte lógico ante la Dirección Nacional de Derecho de Autor en Colombia.
- Ponente en múltiples eventos y coautor de múltiples publicaciones científicas en el ámbito nacional e internacional.



Contenido

- Beneficios de la administración de la energía
- Monitoreo remoto
- Casos de éxito

Beneficios de la administración de la energía

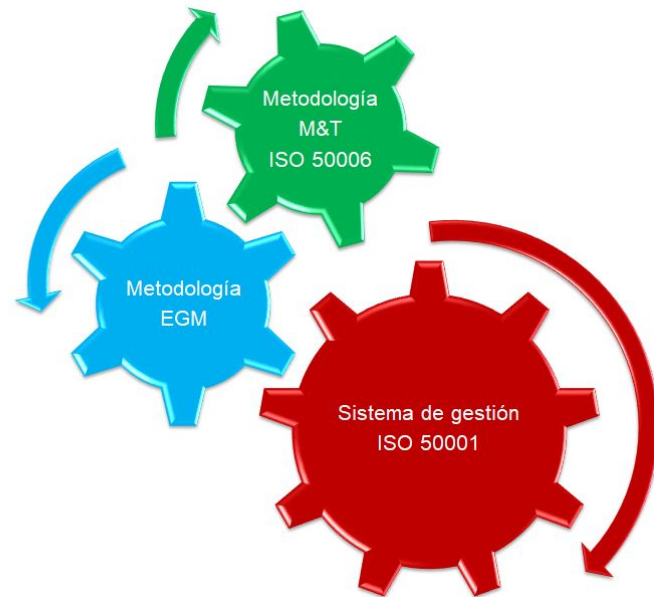
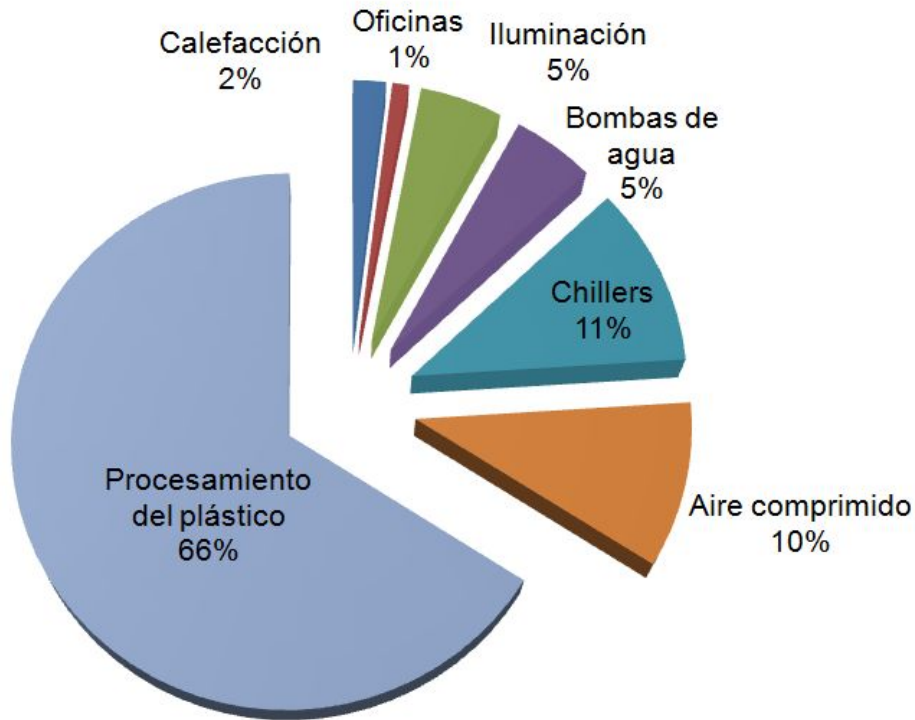


¿Qué hace una empresa más competitiva?

Sinergia entre áreas



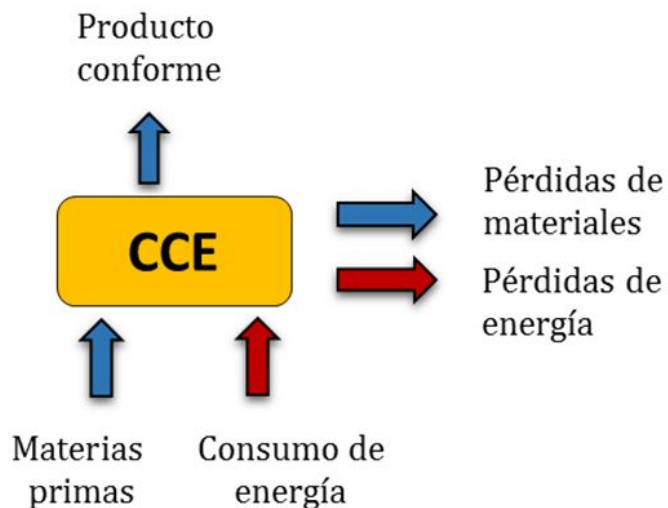
Como hacer una empresa más competitiva a través de la gestión energética



CONSUMO TÍPICO DE ENERGÍA EN UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE POLÍMEROS

Sistema de gestión energética

Centro de costos Energéticos y Consumo Específico de energía (SEC)



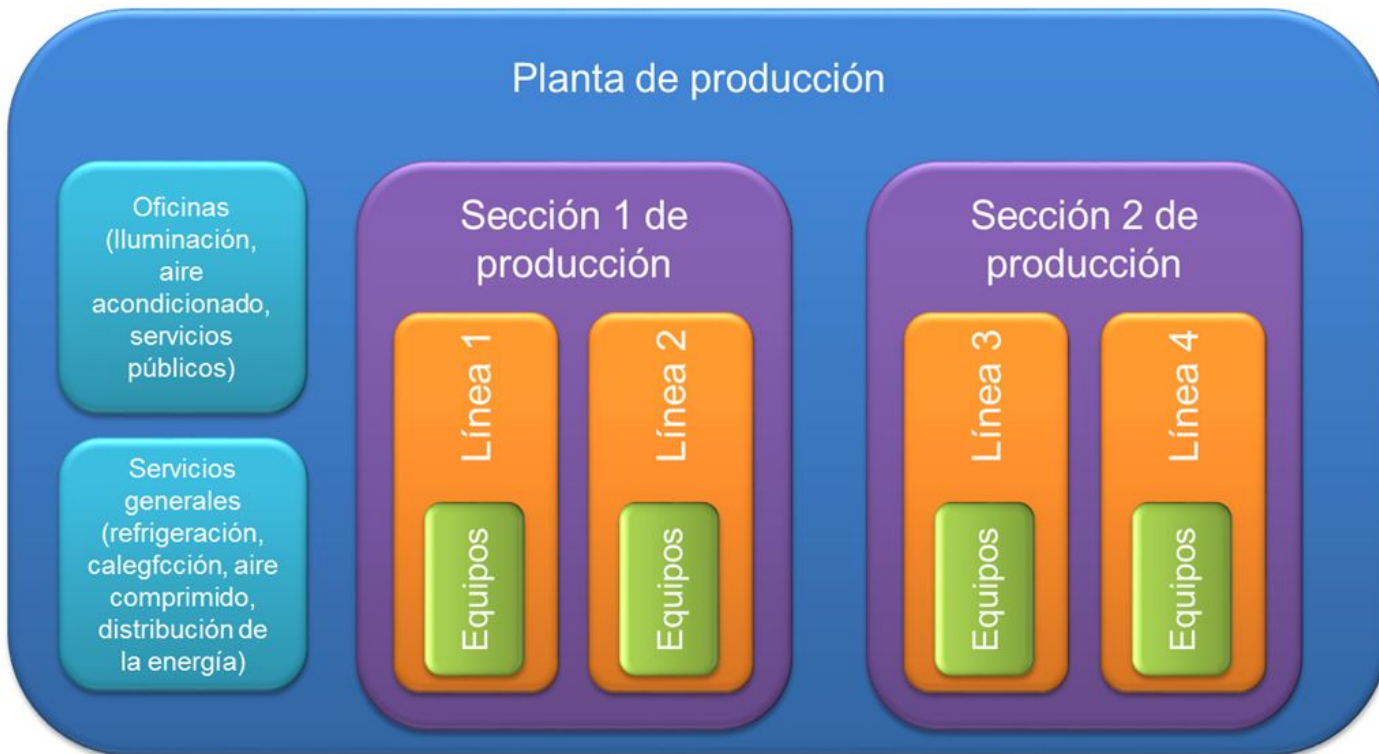
$$\text{CEE ó SEC} = \frac{\text{Consumo de energía [kWh]}}{\text{Producción [kg]}}$$

8

Objetivo: Consumir la menor cantidad de energía por unidad de producción (consumo de energía específico) o CEE o SEC al interior de un Centro de Costos Energéticos o CCE

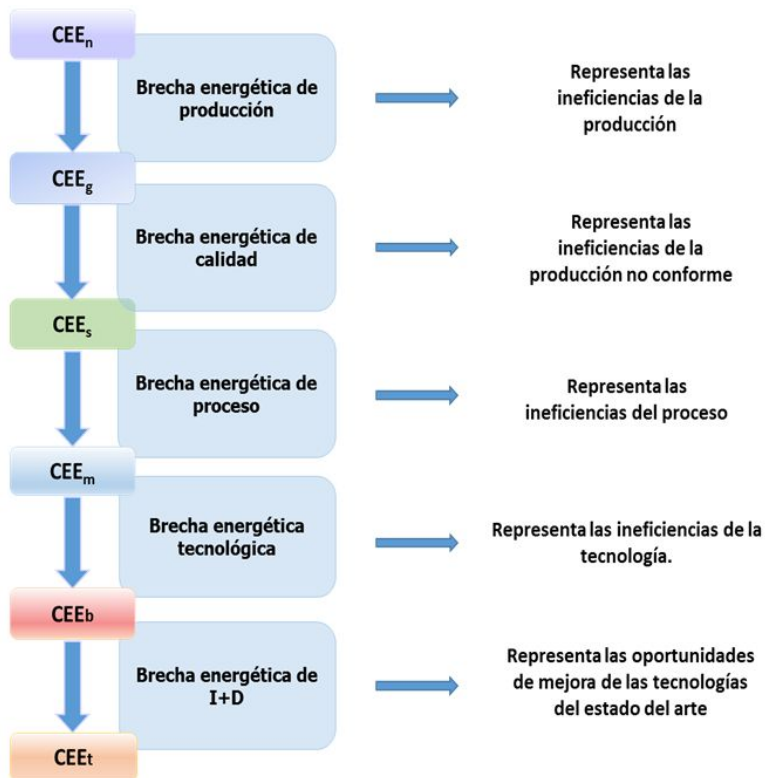
Sistema de gestión energética

¿Qué puede ser un centro de costos energéticos?



Sistema de gestión energética

Método de las brechas energéticas (EGM)





Sistema de gestión energética

Medición de variables

- Selección de equipos de medición
- Selección de variables a medir
- Identificación de indicadores
- Análisis de datos
- Seguimiento de indicadores
- Implementación de mejoras
- Control de variables

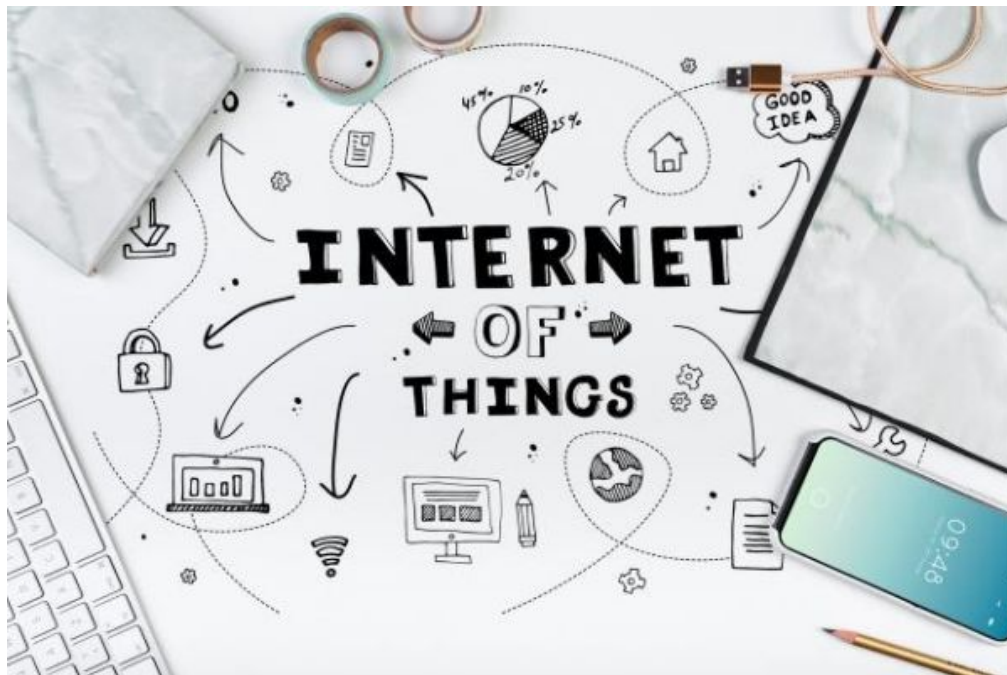


Monitorio remoto

Internet of things (IoT)

¿Qué es IoT?

Internet de las cosas



¿Definamos “cosas”?

Definición de IoT

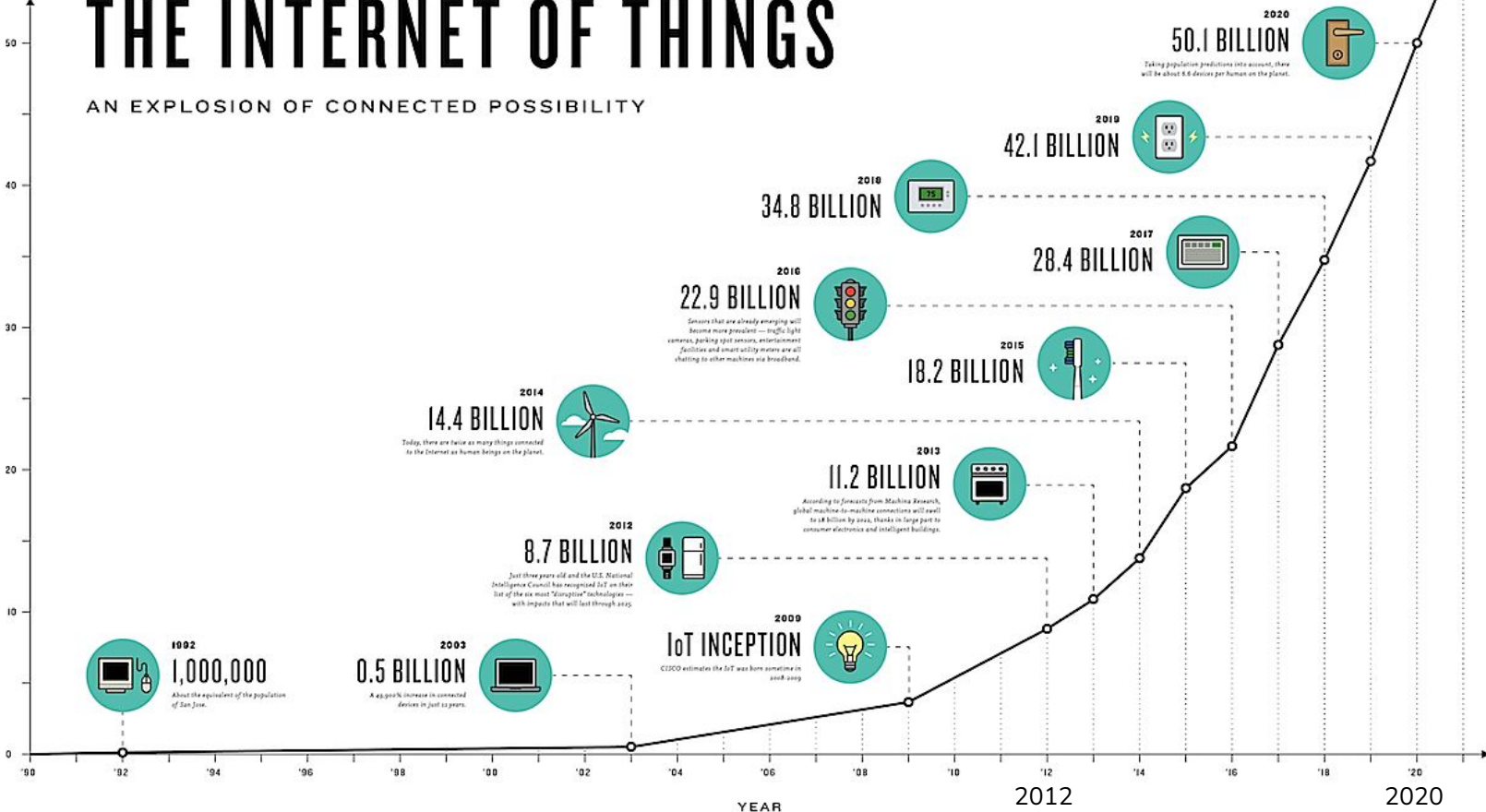
Sectores:

- Industria
- Salud
- Transporte
- **Energía**
- Ciudad

THE INTERNET OF THINGS

AN EXPLOSION OF CONNECTED POSSIBILITY

BILLIONS OF DEVICES



Principales elementos de una arquitectura IoT

Sensores y
actuadores

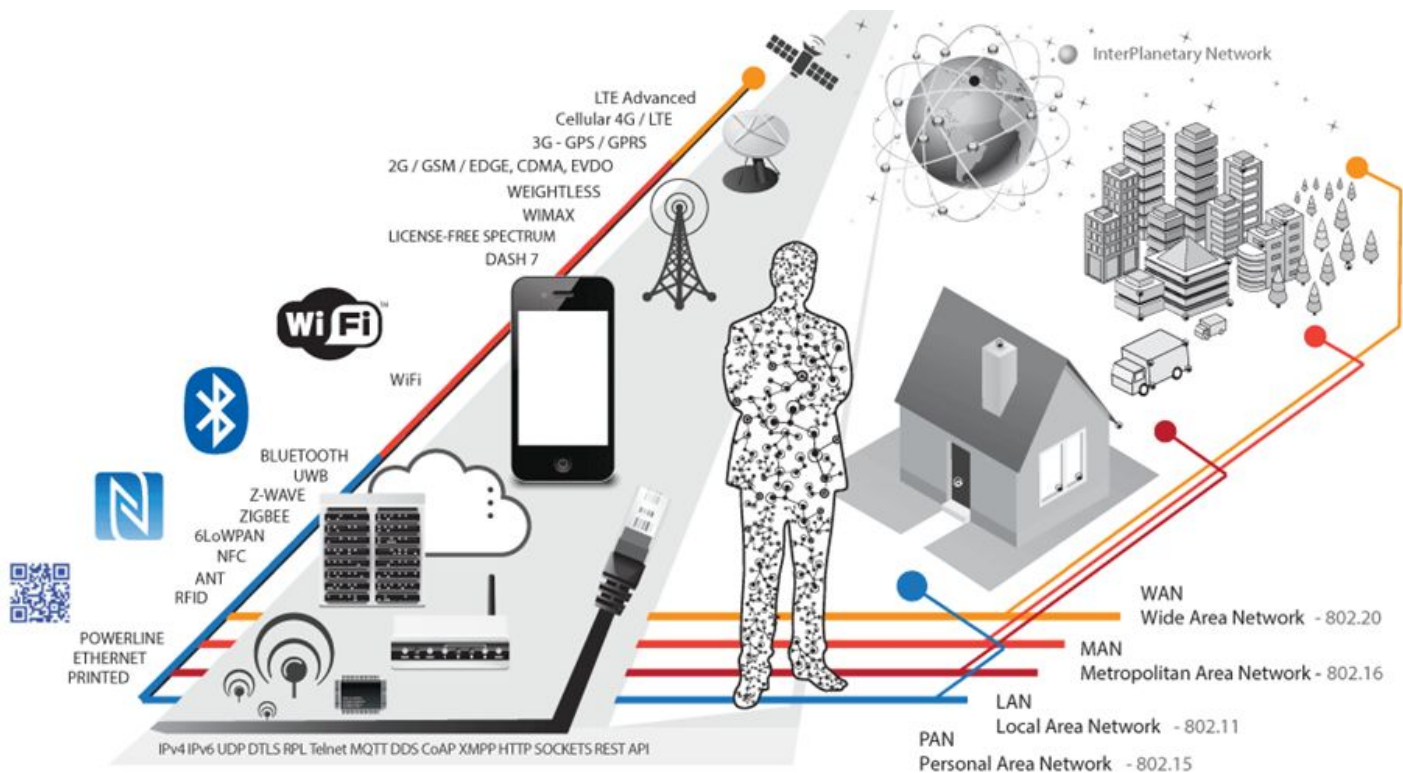
Conectividad

Procesos y
personas

Hardware / Software

Principales elementos en un sistema IoT

Conectividad



Elementos IoT:

Sensores y actuadores



Humidity



Fire



Temperature



Level



GPS



Sound



Light



Air quality



Electricity



Accelerometer



Pressure



CO2

Laboratorio IoT del ICIPC





Aplicación: Cámara de ozono

Prototipo



Aplicación: Cámara de ozono

Arquitectura típica en un Sistema de medición IoT

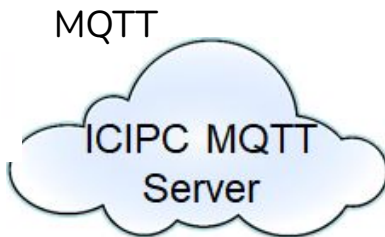


Sensor de
Temperatura

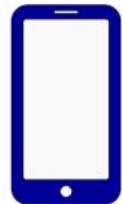
Medición de voltaje para conocer
concentración de ozono



WiFi



MQTT
Broker



Base de datos



Visualización



Algunas plataformas IoT en la nube





Aplicación: Cámara de ozono

Monitoreo de concentración de ozono y temperatura

Ozono en cámara de Ozono



Temperatura en cámara de Ozono

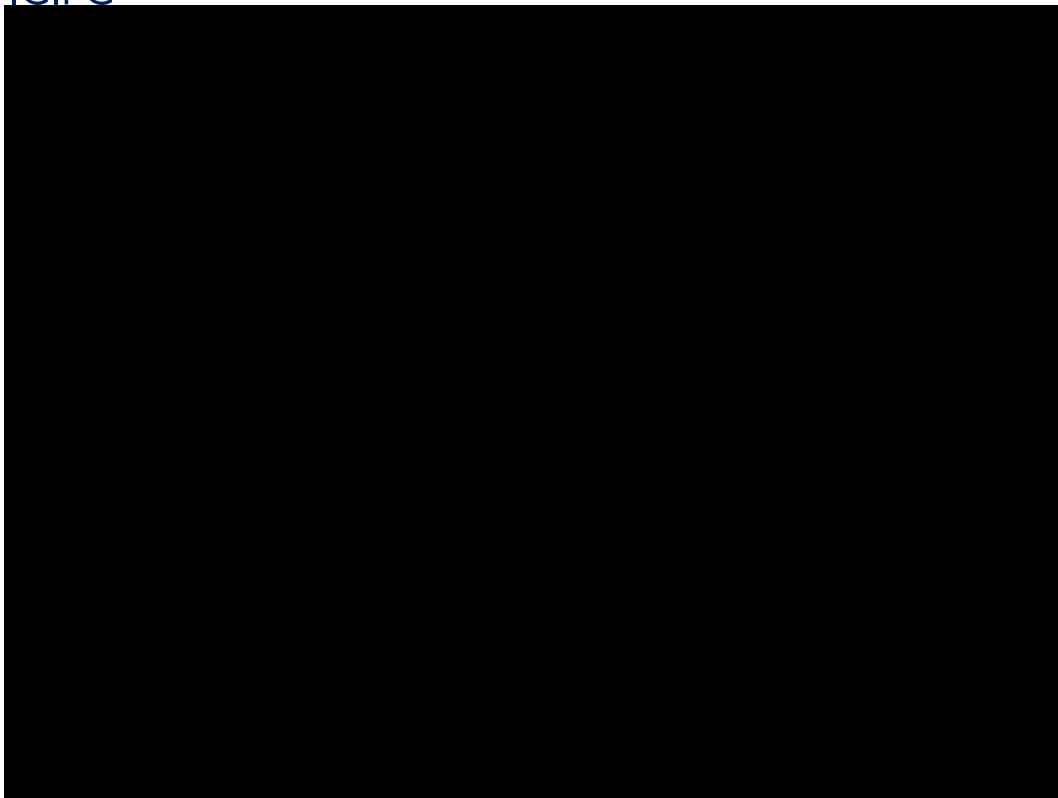


Aplicación: Monitoreo remoto en Extrusora mono husillo





Aplicación: Monitoreo remoto en Extrusora mono husillo

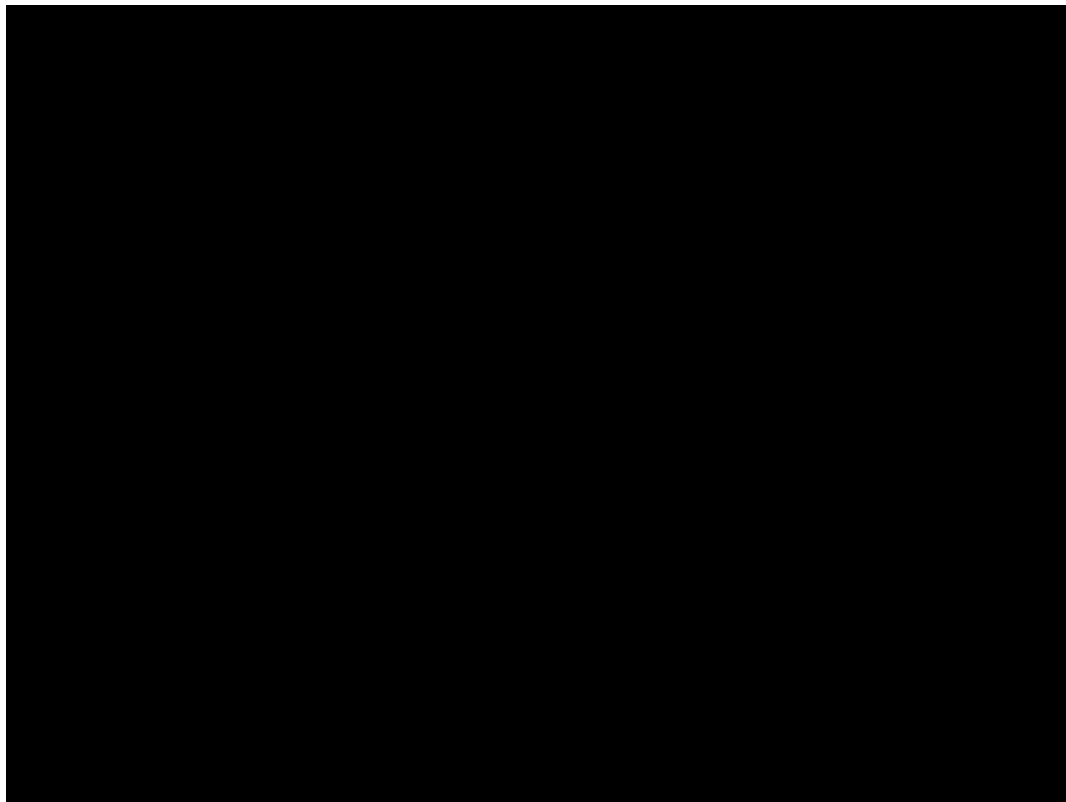




Aplicación: Monitoreo remoto Inyectora

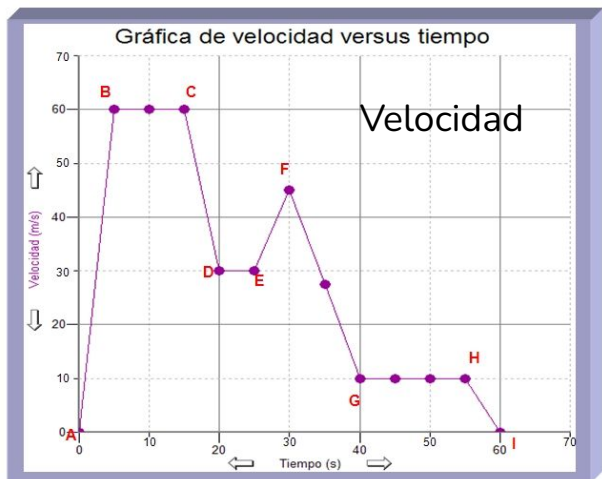
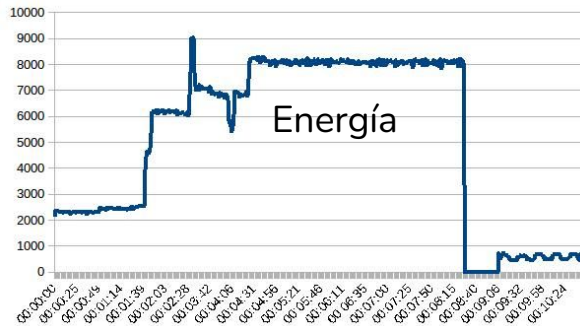


Modelo de máquina: Arburg 420
C GOLDEN EDITION
Fuerza de cierre máx.: 1000 KN –
100 Ton.



¿Qué se puede lograr con un sistema IoT?

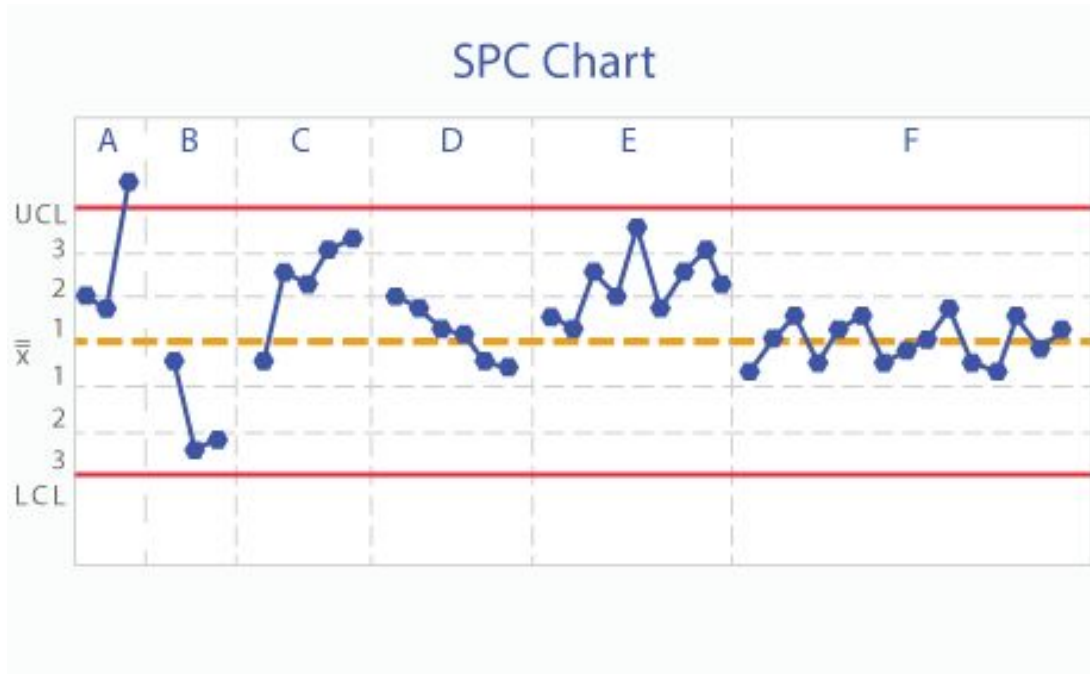
Monitoreo en tiempo real



- Seguimiento remoto y en tiempo real de los procesos.
- Alarmas, notificaciones y seguimiento de indicadores en cualquier momento.
- Analítica de datos integrada, automática y a la medida
- Algunas rutinas de **machine learning** que permitan mejorar los procesos mediante recomendaciones (control abierto)

Que se puede lograr con un sistema IoT?

Calidad



- Control estadístico de procesos de variables críticas.
- Posibilidad de acciones sobre el producto en proceso y no post-proceso

Casos de éxito



Extrusión de perfiles de caucho

Descripción del equipo: Extrusora y Túnel de caucho EPDM

EQUIPOS DIAGNOSTICADOS

Extrusora para Caucho

Marca: Cope

Modelo: EPT-90/12

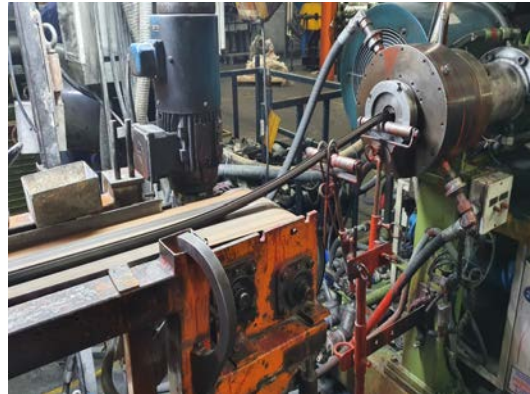
Diámetro husillo: 90mm

Velocidades de proceso: 50-55 RPM

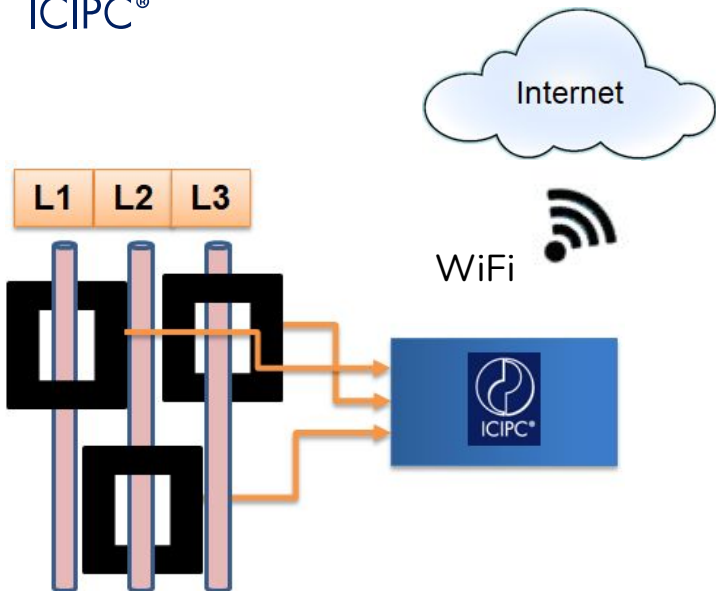


Túnel de curado a gas

Los componentes eléctricos del túnel de curado a gas están compuestos por los motores recirculadores de aire, el extractor de calor y las bandas transportadoras.



Medición remota de energía



El dispositivo mide Amperajes y Voltajes. Con estos datos puede calcular potencia [kW], consumo [kWh], energía reactiva, factor de potencia, entre otros.

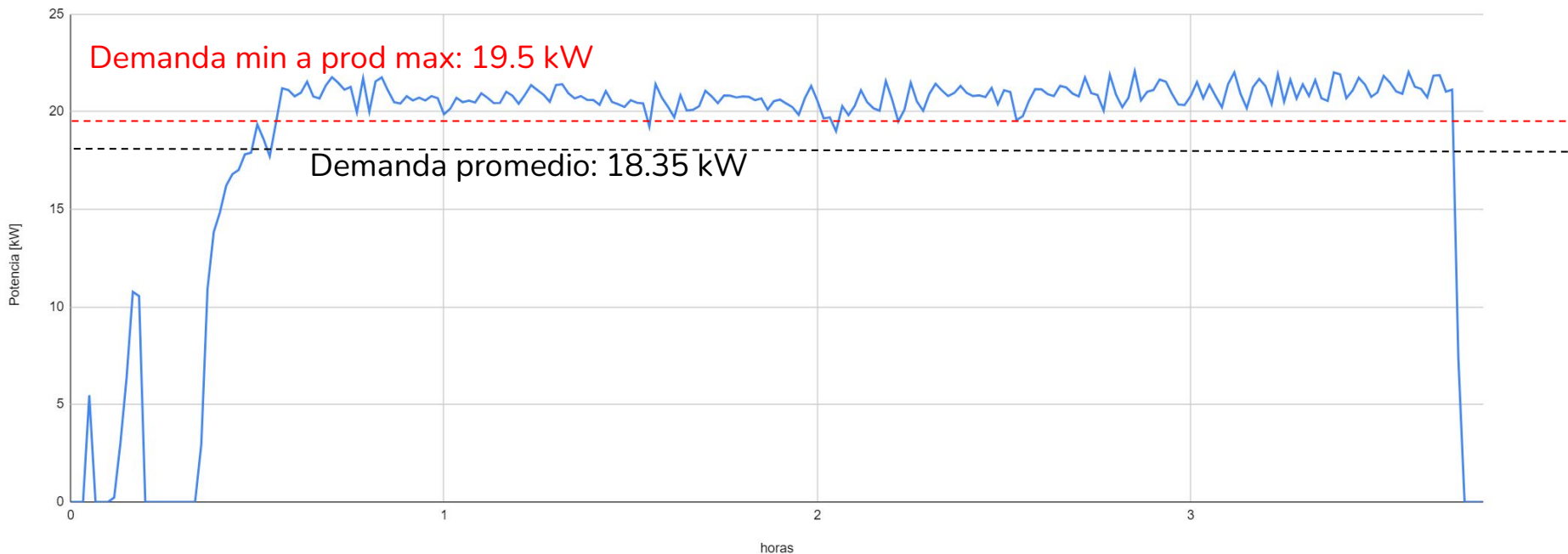


Frecuencia de Medición



Demanda de potencia ref3: C030007

Potencia [kW] frente a horas

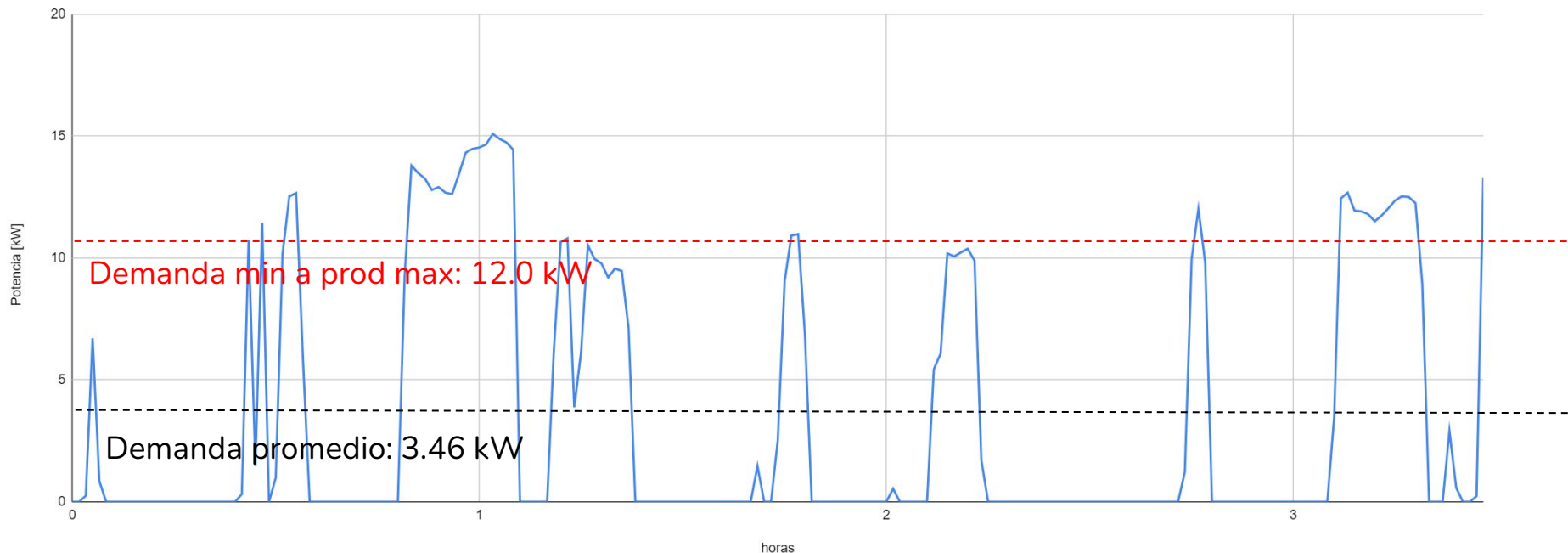


Alcanza estabilidad. Se espera baja variación de dimensiones y peso en el producto.



Demanda de potencia ref4: 0314C020189

Potencia [kW] frente a horas

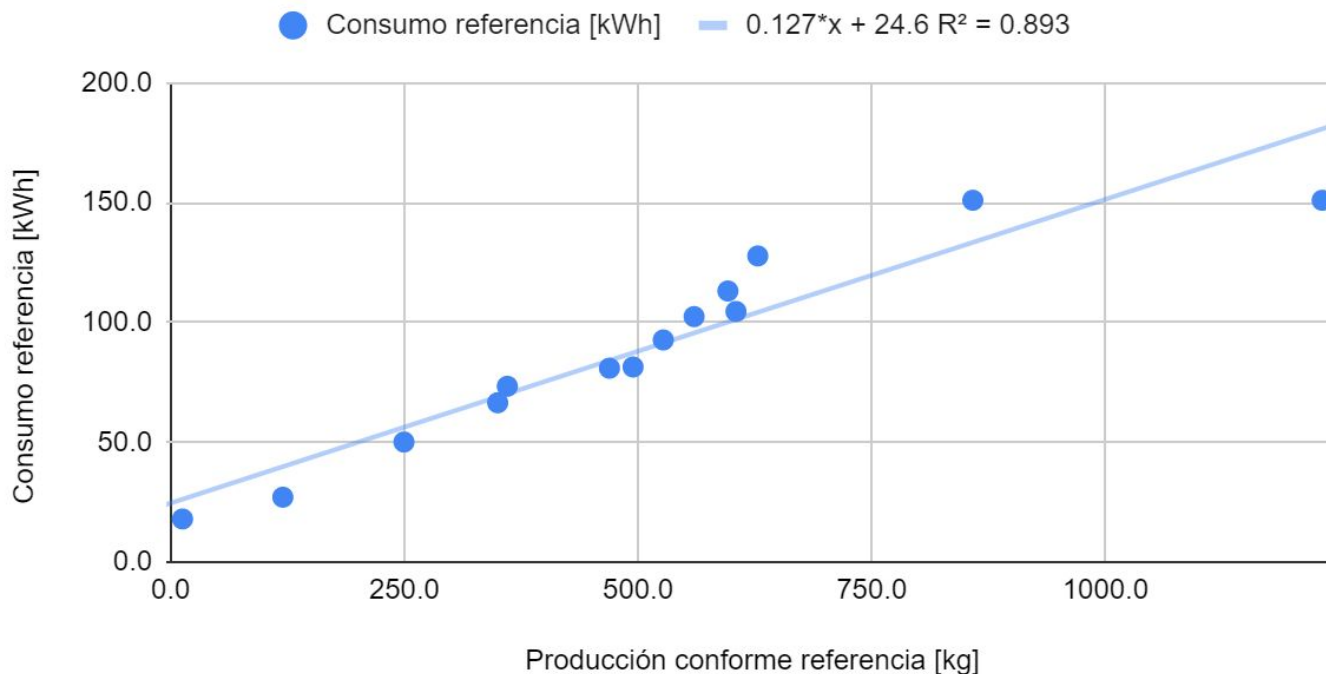


No alcanza estabilidad. Altos tiempos de paro. Se espera producto con alta variación en dimensiones y peso.



Desempeño energético y productivo - Extrusora de caucho EPDM

Producción conforme referencia [kg] frente a Consumo referencia [kWh]



24.6 kWh de consumo fijo, que representan al año 106 millones de pesos.

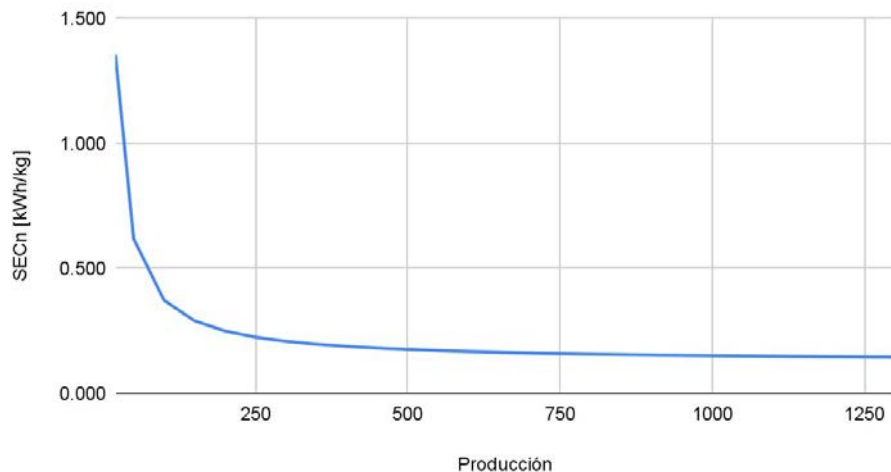
0.127 kWh/kg de consumo variable.



Desempeño energético y productivo - Extrusora de caucho EPDM

$$SEC_n = 0.127 + \frac{24.6}{Produccion_{conforme}}$$

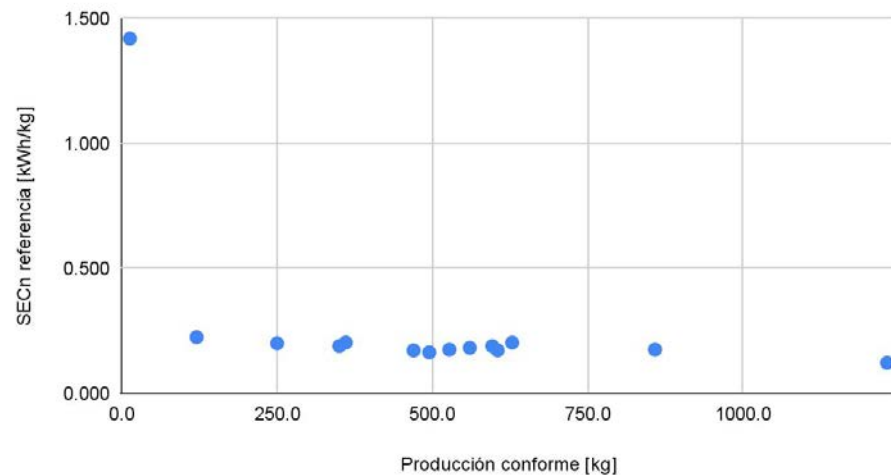
SECn [kWh/kg] frente a Producción



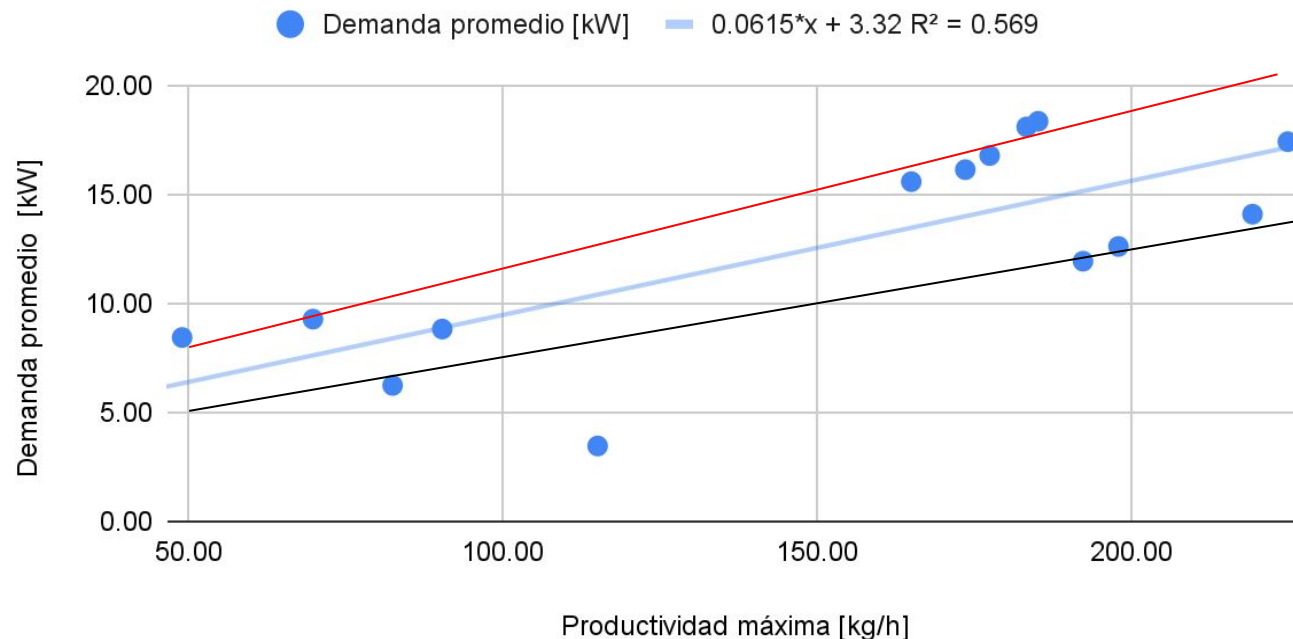
En promedio

- Cuando se producen 100 kg, el SECn es 0.373kWh/kg y la energía cuesta \$223.8/kg.
- Cuando se producen 200 kg, el SECn es 0.250kWh/kg y la energía cuesta \$150/kg.
- Cuando se producen 500 kg, el SECn es 0.176 y el costo es \$105.8/kg.
- Cuando se producen 1,000 kg, el SECn es 0.152kWh/kg y el costo de la energía es \$91/kg

Producción conforme [kg] frente a SECn referencia [kWh/kg]



Productividad máxima [kg/h] frente a Demanda promedio periodo de medición [kW]



Línea azul: desempeño promedio

Línea roja: referencias con mal desempeño energético C030212AL, C030400U, C030016, C030007.

Línea negra: referencias con mejor desempeño energético. C030110, 0314C591200, C030031, C040307

Alta dispersión de los datos

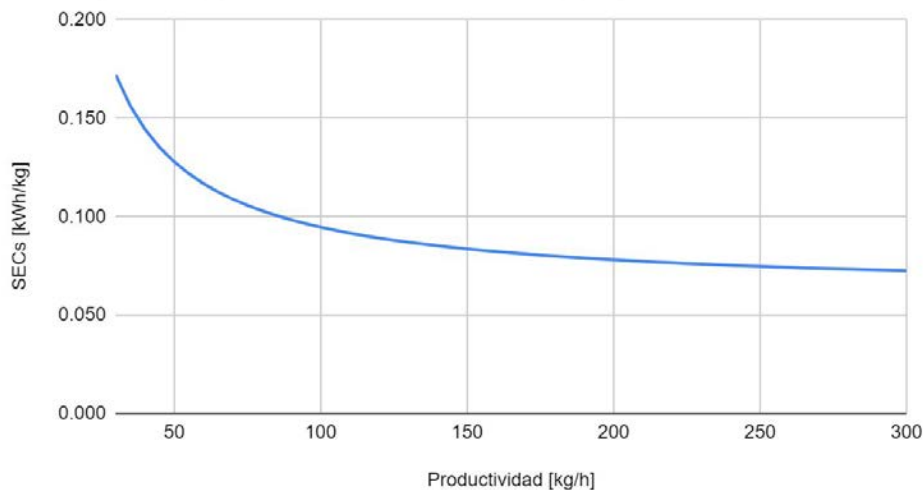


Desempeño energético y productivo - Extrusora de caucho EPDM

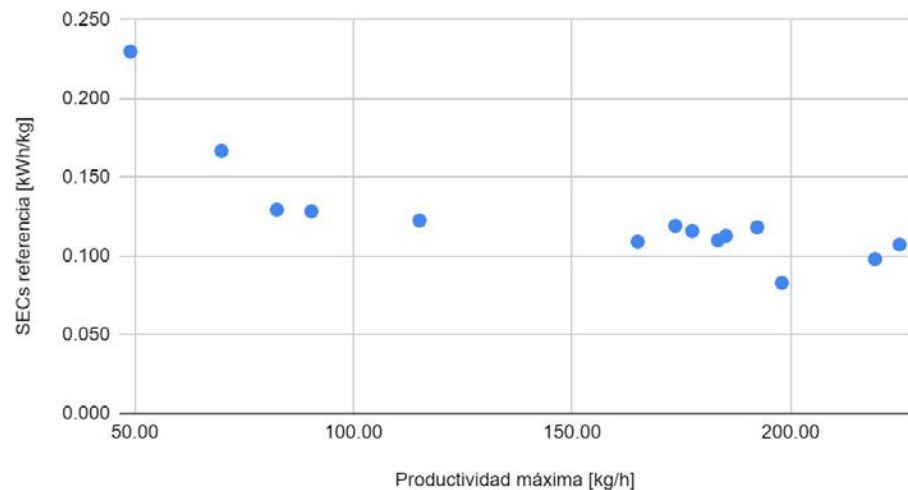
$$SEC_s = 0.0615 + \frac{3.32}{Productividad_{conforme}}$$

Si la productividad es 50kg/h, el SECs es 0.128kWh/kg. Cuando se procesa a 200 kg/h el SECs es 0.076 kWh/kg

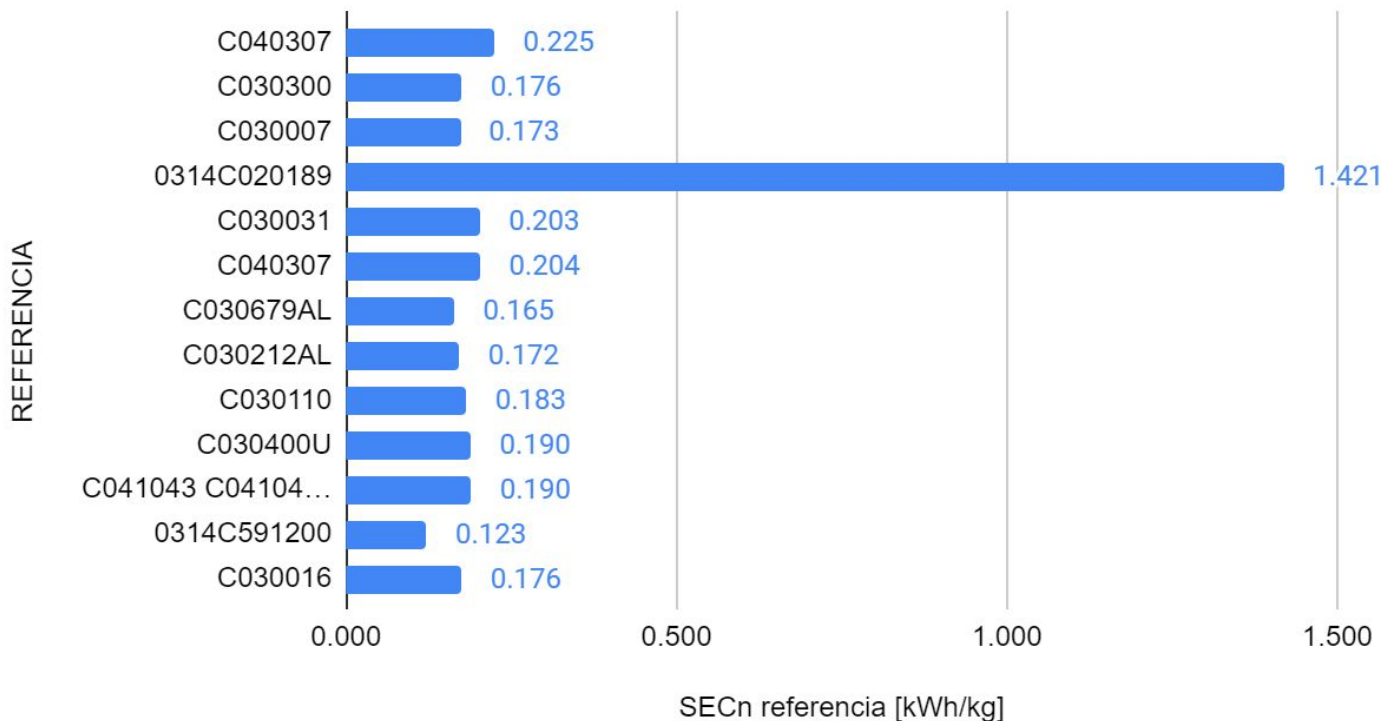
SECs [kWh/kg] frente a Productividad [kg/h]



SECs referencia [kWh/kg] frente a Productividad máxima [kg/h]



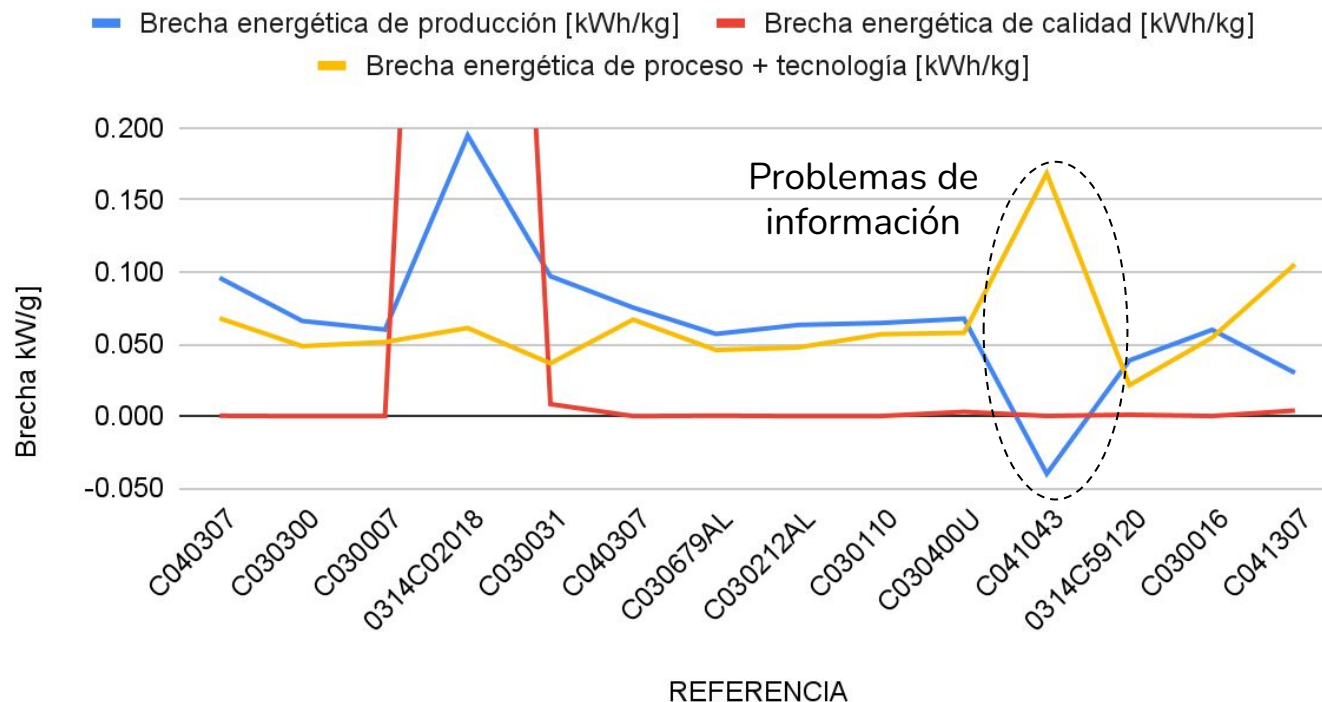
SECn referencia [kWh/kg] frente a REFERENCIA



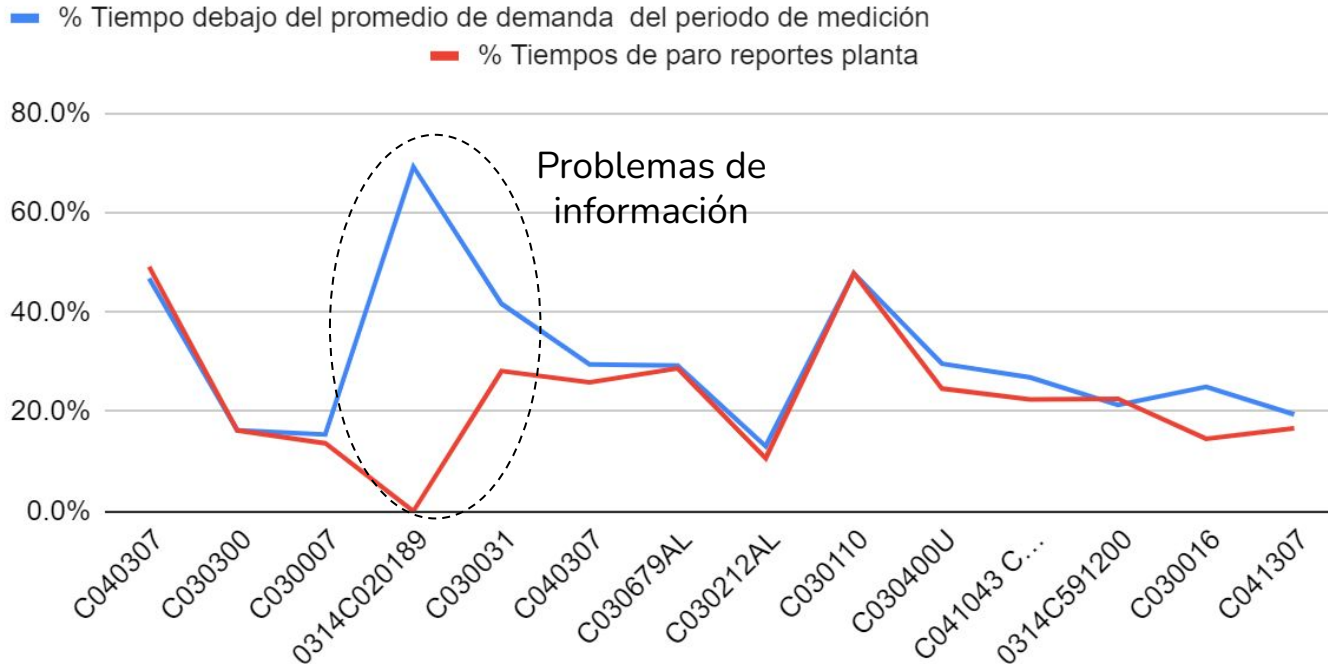
SECn
MAQUINA
PERIODO
DE
MEDICIÓN
[kWh/kg]

0.176

BRECHAS ENERGÉTICAS



COMPARATIVO TIEMPOS DE PARO VS TIEMPOS POR DEBAJO DE LA MEDIA DE DEMANDA



Hay correspondencia entre los tiempos de paro reportados y el tiempo que opera la máquina por debajo de la demanda media.

EQUIPOS DIAGNOSTICADOS

Extrusora para Caucho

Marca: Cope

Modelo: EPT-90/12

Diámetro husillo: 90mm

Velocidades de proceso: 50-55 RPM

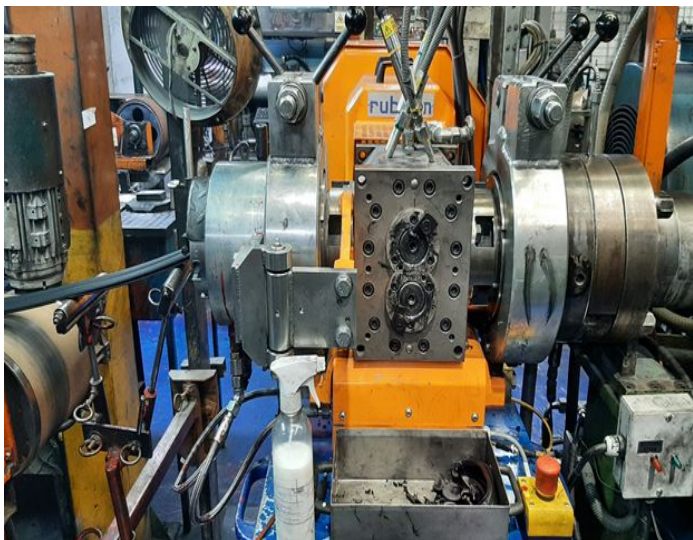
Bomba de Engranajes

Marca: Rubicon

No.: 60 4488 Año: 2021

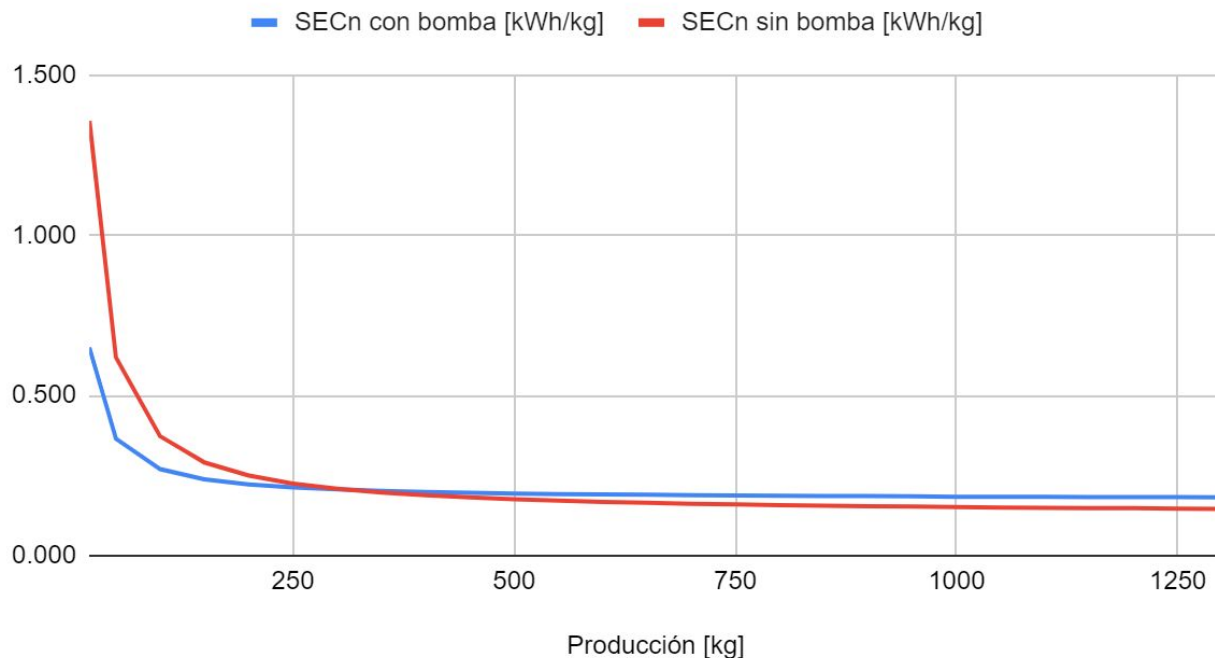
Voltaje: 220Vac 3 ph. 60Hz

Potencia: 14,7kW



La COPE con bomba es más eficiente energéticamente con pedidos más pequeños (aprox debajo de 300 kg) que sin bomba. Esto indica que aumenta la estabilidad del proceso.

SECn con bomba [kWh/kg] y SECn sin bomba [kWh/kg]

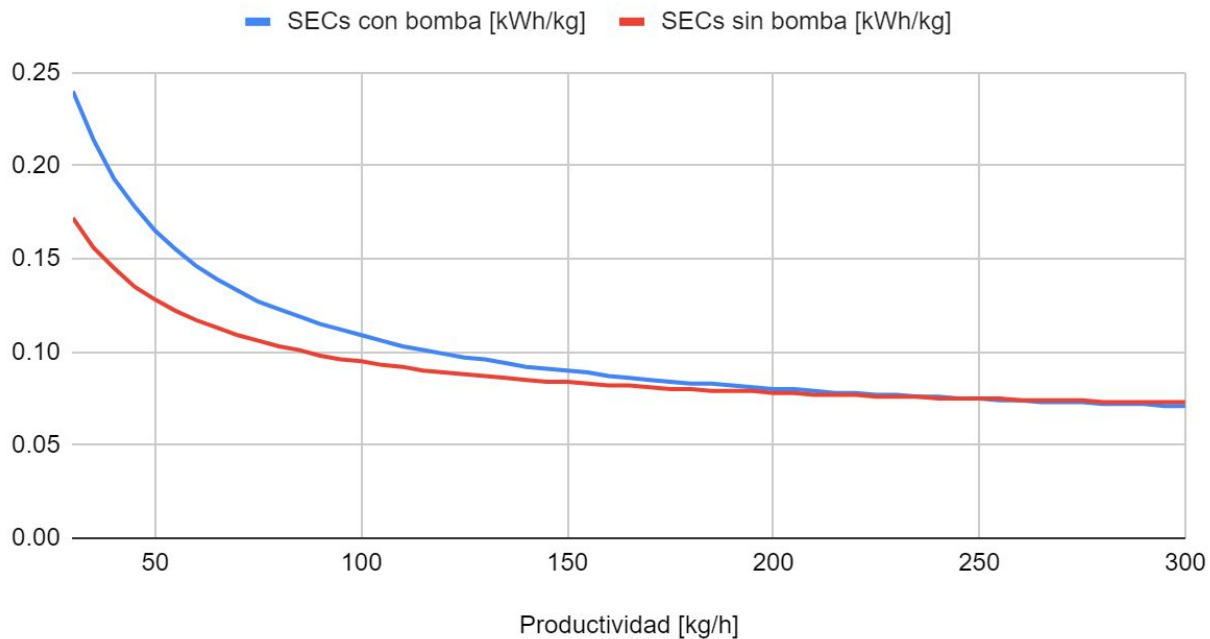




Comportamiento del SECs

La COPE tiene un SEC estable que muestra más eficiencia con bomba a velocidades de producción superiores a 250 kg/h.

SECs con bomba [kWh/kg] y SECs sin bomba [kWh/kg]





Inyección de termoplásticos



Inyectora

- Inyectora:
 - Tonelaje: 1800 kN
 - Diámetro husillo: 45mm
 - Tipo: Hidráulica
- Molde:
 - Tipo de alimentación: Colada mixta (fría y caliente).
 - Número de puntos de inyección: 16.
- Pieza:
 - Material: PE
 - MFI 48 g/10 min
 - Peso por pieza: 3 g



Inspección del proceso

Condiciones de proceso Actuales

Condición proceso		
Parámetro	Unidad	Valor
Perfil velocidad inyección	%	94/94/94
Perfil posición inyección	mm	18/17
Perfil presión inyección	Bar	113
punto conmutación	mm	8
Perfil pospresión	Bar	110
Tiempo pospresión	s	0.9
Tiempo enfriamiento programado	s	3
Perfil temperatura	°C	220/225/215/180
Velocidad plastificación	%	99
Contrapresión	Bar	0
Dosificación	mm	67
Recorrido descompresión	mm	10
Colchón másico	mm	18.5
Posición final	mm	77
L/D plastificación	L/D	1.49
Temperatura colada caliente	°C	279/278/248/302/299/299
Temperatura molde	°C	
Tiempo de ciclo [s]	s	11.7

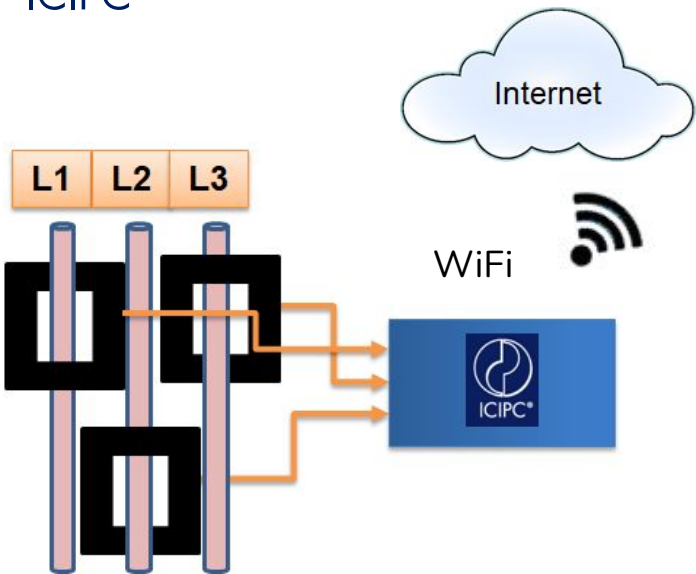


Valores en segundos

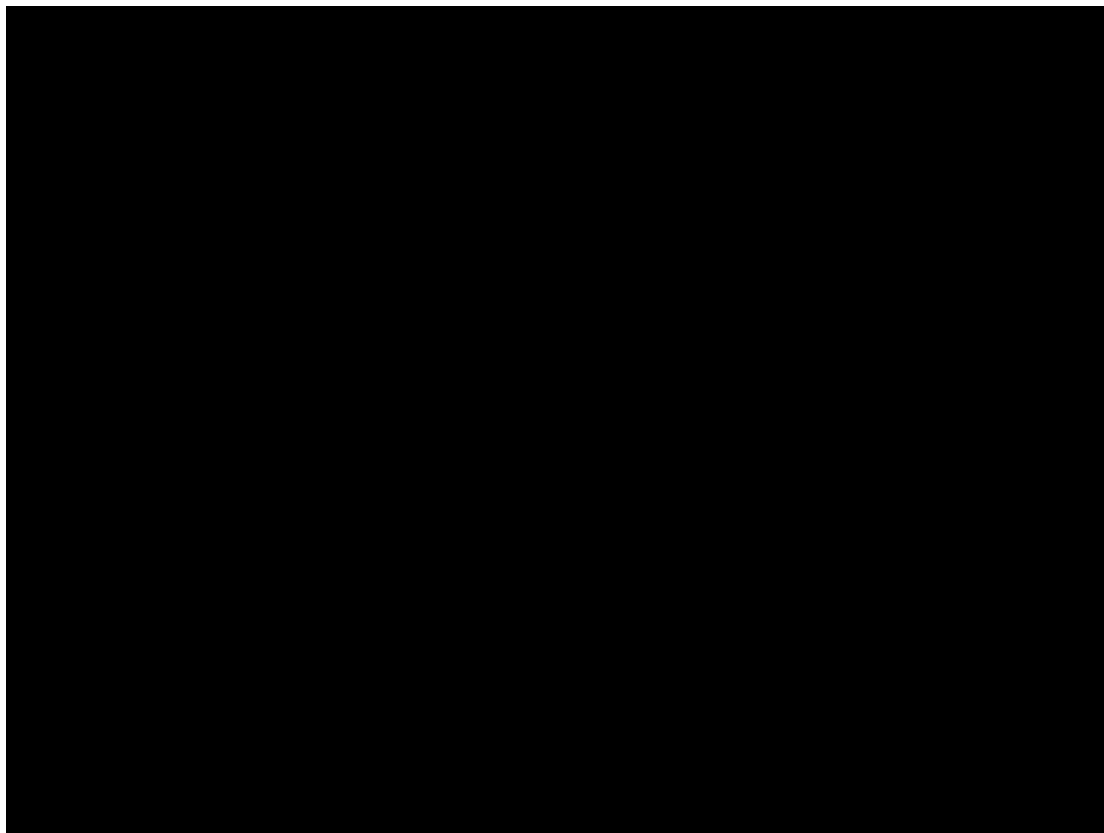
Factor desperdicio [%] = 26%
% Rechazo histórico [%] = 1%



Medición remota de energía

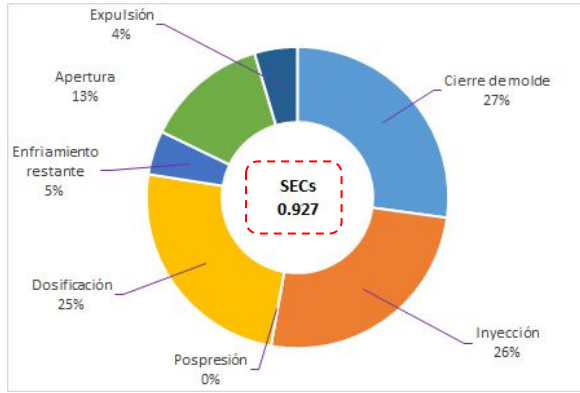


Amperajes y Voltajes



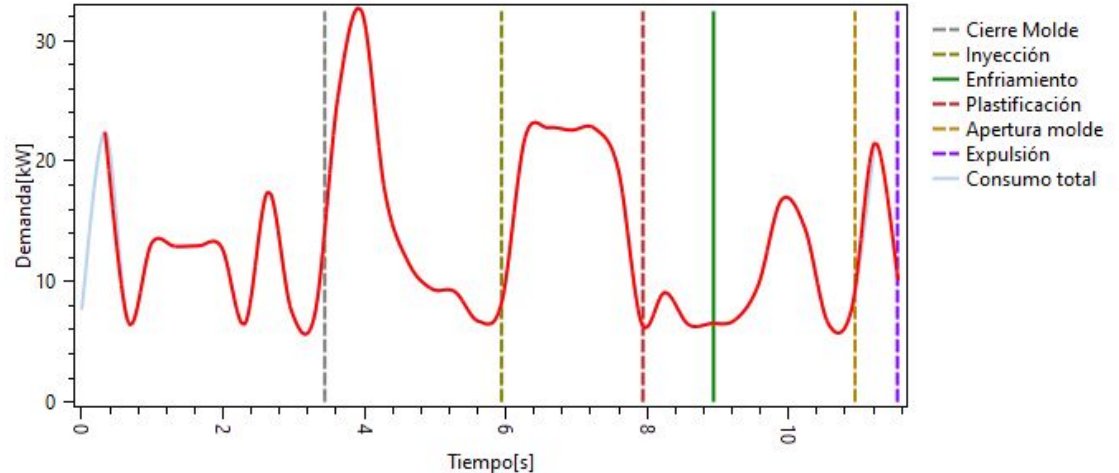
Inspección del proceso

Mediciones iniciales



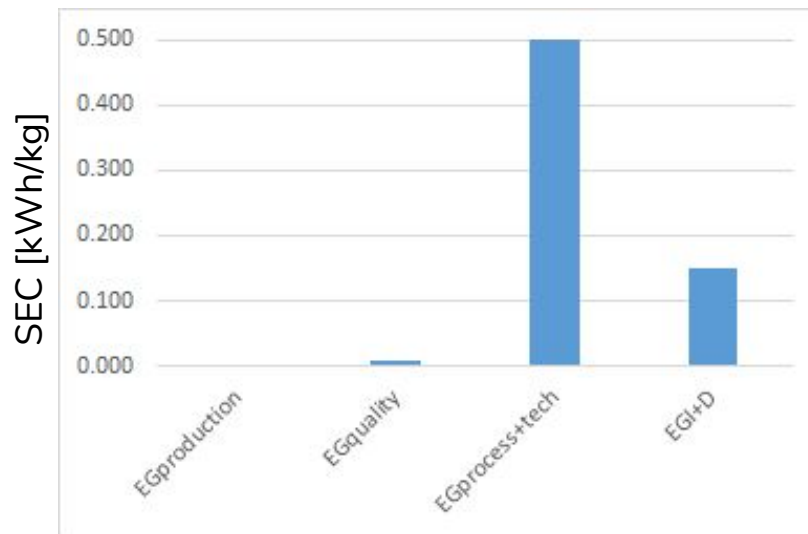
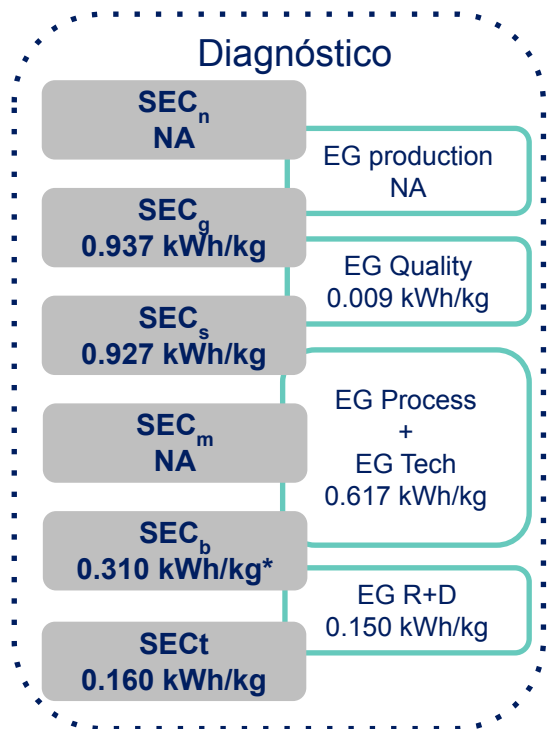
Se observa que las fases de cierre, inyección y dosificación conforman más del 75% del consumo total, por lo que se debe hacer especial énfasis en estas fases para el análisis de optimización del ciclo.

Costo de la energía
\$12.48=/ciclo
\$0.78=/pieza
\$268.94=/kg



Método de las Brechas energéticas

Condición inicial



Se observa que la mayor brecha es la de proceso + tecnológica, lo que indica que se debe hacer especial énfasis en la parametrización de las máquinas para la optimización del SEC.

Análisis de ciclo y parametrización actual

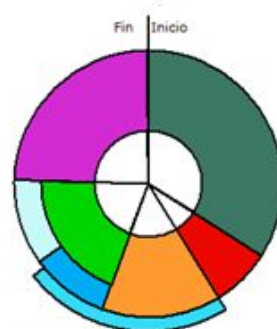
Ciclo Actual



Tiempo de las fases del ciclo en [s]			
Cerrar el Molde	3.6	Dosificación	2.1
Unidad de iny. adelante	0	Unidad de iny. atras	0
Inyección	2.5	Enfriamiento teórico	4.9
Presión posterior	0	Enfriamiento restante	3
Retardo para dosificación	0	Apertura del Molde	2.6
Tiempo total de ciclo		11.7	



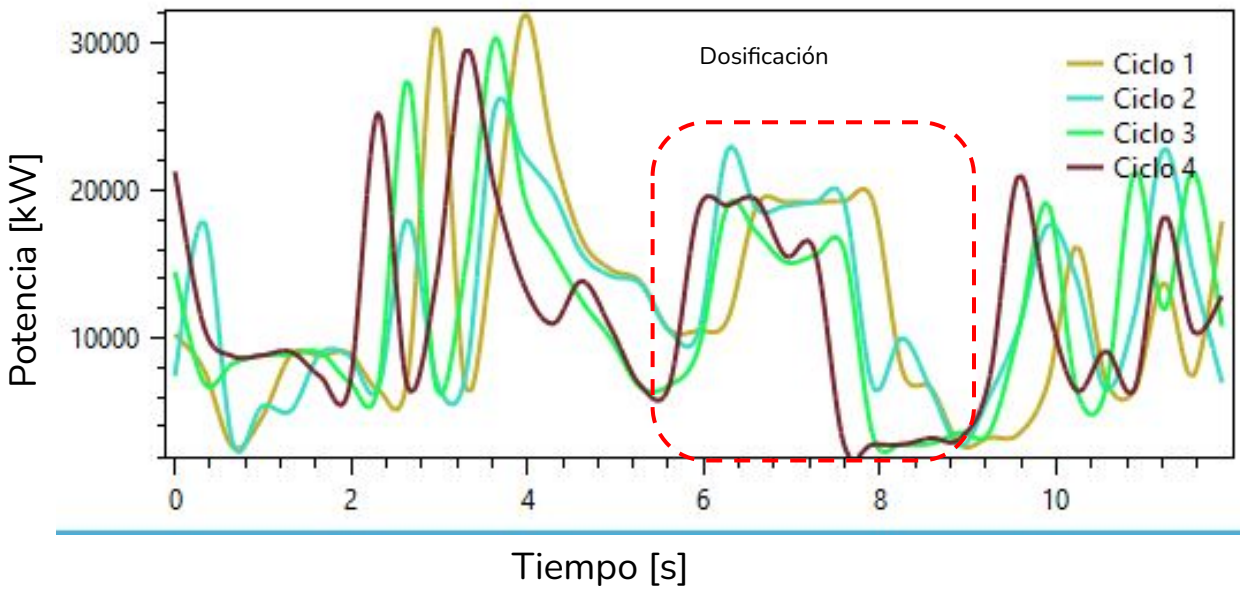
Ciclo optimizado



Tiempo de las fases del ciclo en [s]			
Cerrar el Molde	3.6	Dosificación	2.1
Unidad de iny. adelante	0	Unidad de iny. atras	0
Inyección	0.7	Enfriamiento teórico	2.4
Presión posterior	1.5	Enfriamiento restante	1
Retardo para dosificación	0	Apertura del Molde	2.6
Tiempo total de ciclo		10.6	

- Tiempo de enfriamiento mayor al tiempo dosificación, se puede ajustar para optimizar el tiempo de ciclo
- Tiempo de inyección muy extenso, se debe realizar un análisis en detalle del control de la máquina para entender la parametrización actual

Análisis estabilidad- software ICIPC



Las mediciones de energía y los registros de la máquina muestran una leve variación en los tiempos de ciclo por los tiempos de respuesta en el control de la máquina, se recomienda revisar a fondo la causa de estas variaciones.



Análisis del proceso

Resistencias unidad de plastificación



Unidad de plastificación- Imagen de referencia



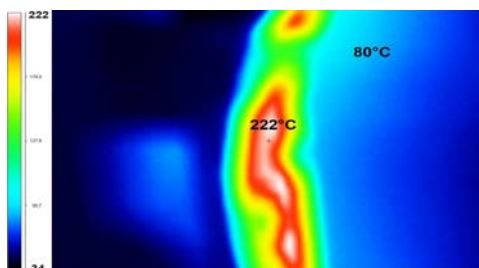
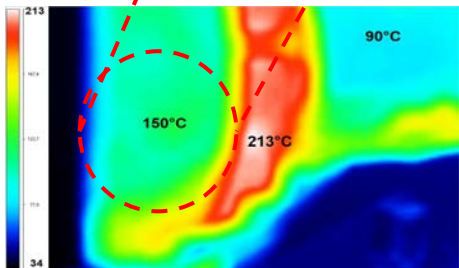
Bandas de aislamiento unidad de plastificación- Imagen de referencia



Unidad de plastificación

Segunda zona de calefacción:

Última zona de calefacción:



La inyectora cuenta con una unidad de plastificación convencional con carcasa de aislamiento. Las termografías muestran zonas con temperaturas entre 150°C y 222°C que pierden mucha energía por convección y radiación.



Análisis del proceso

Resistencias unidad de plastificación

Temperatura superficial	Pérdidas estimadas de energía por convección	Horas operación / año	Costo energía / año
≈180°C	0.458 kW	7,200 h	\$1,365,206
Ideal: 60 °C	≈0.0774 kW	7,200 h	\$230,713

Ahorro estimado: COP\$1,134,493 al año

Inversión: COP\$2,500,000

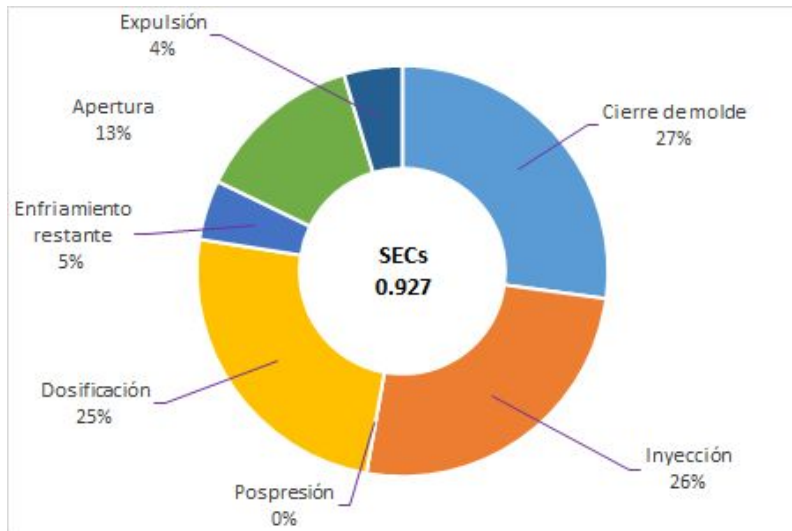
Retorno: 27 meses

- **Ventajas:**
 - Reducción en los tiempos de arranque de las máquinas ya que alcanzan más rápido la temperatura de trabajo
 - Se reducen los riesgos de salud y seguridad del personal asociados a superficies calientes
 - Ayuda a disminuir la temperatura general de la planta al eliminar fuentes de calor al ambiente
- **Cuidados:**
 - El aislamiento puede dañarse durante los trabajos de mantenimiento
 - La instalación puede requerir reajuste en los parámetros de proceso

Optimización del proceso

Evaluación fase dosificación

La fase de plastificación representa el 75% del consumo total del ciclo. Dado que la brecha energética mayor es la de proceso + tecnológica, se ejecutaron pruebas para caracterizar el comportamiento energético de los procesos modificando únicamente perfiles de inyección y temperaturas de proceso.

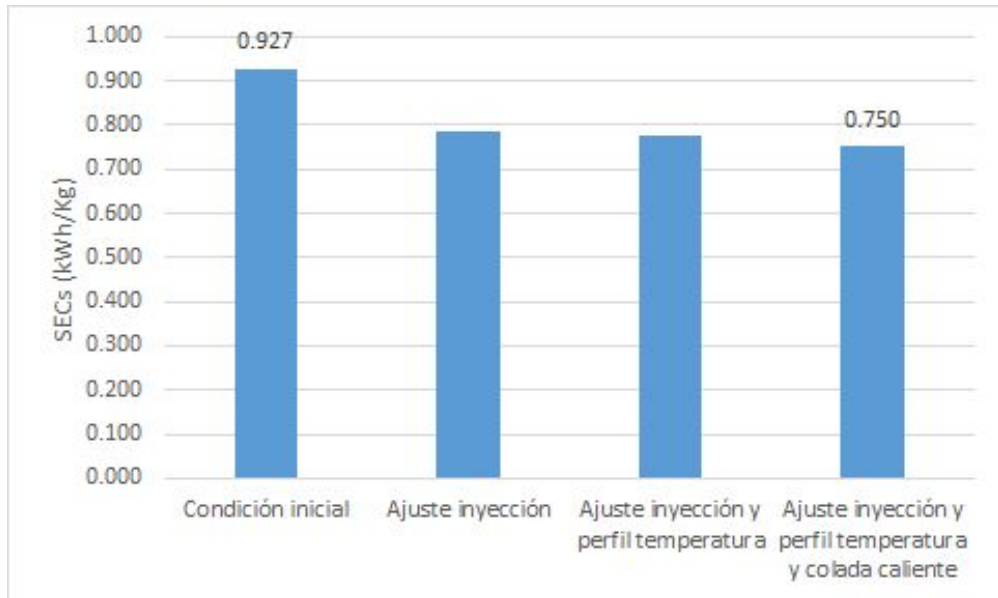


Condición	Descripción
Inicial	Condición inicial
2	Ajuste inyección
3	Ajuste inyección y perfil temperatura cilindro
4	Ajuste inyección , perfil temperatura cilindro y colada caliente

Optimización del proceso

Comportamiento SECs

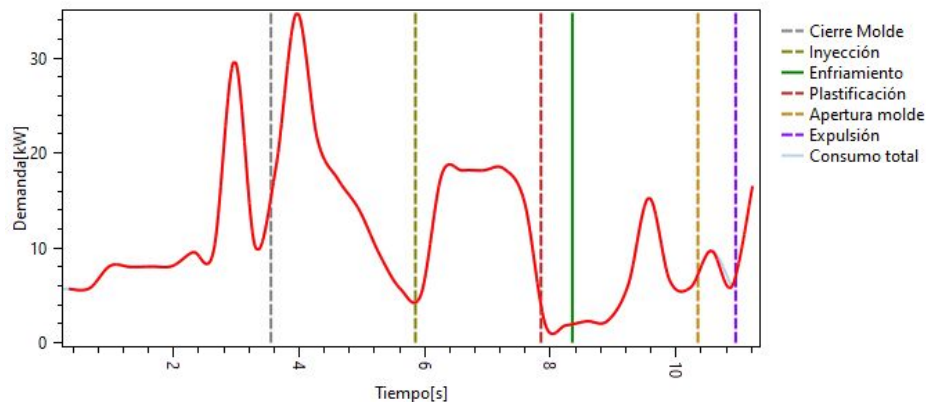
Los resultados muestran una clara tendencia en la reducción del consumo energético del proceso relacionado con la parametrización de la inyección y las temperaturas de unidad de plastificación.



De esta manera se logra bajar de un SEC de 0.927 a 0.750 kWh/kg.

Optimización del proceso

Consumo energético mejorado



Con las modificaciones realizadas en los parámetros se obtiene un SECs de 0.750 kWh/kg, 19% menor al SECs con un incremento en la producción del 7% por la reducción en el tiempo de ciclo.

Las piezas obtenidas bajo estos parámetros fueron catalogadas como conformes.

Costo de la energía

inicial

\$12.48=/ciclo

\$0.78=/pieza

\$268.94=/kg

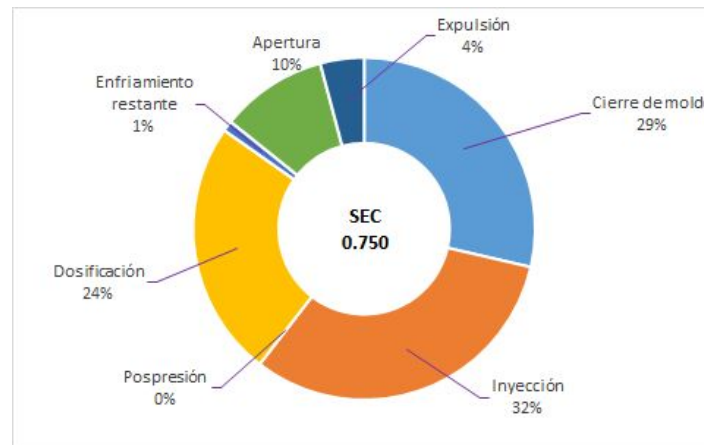
Costo de la energía

final

\$10.10=/ciclo

\$0.63=/pieza

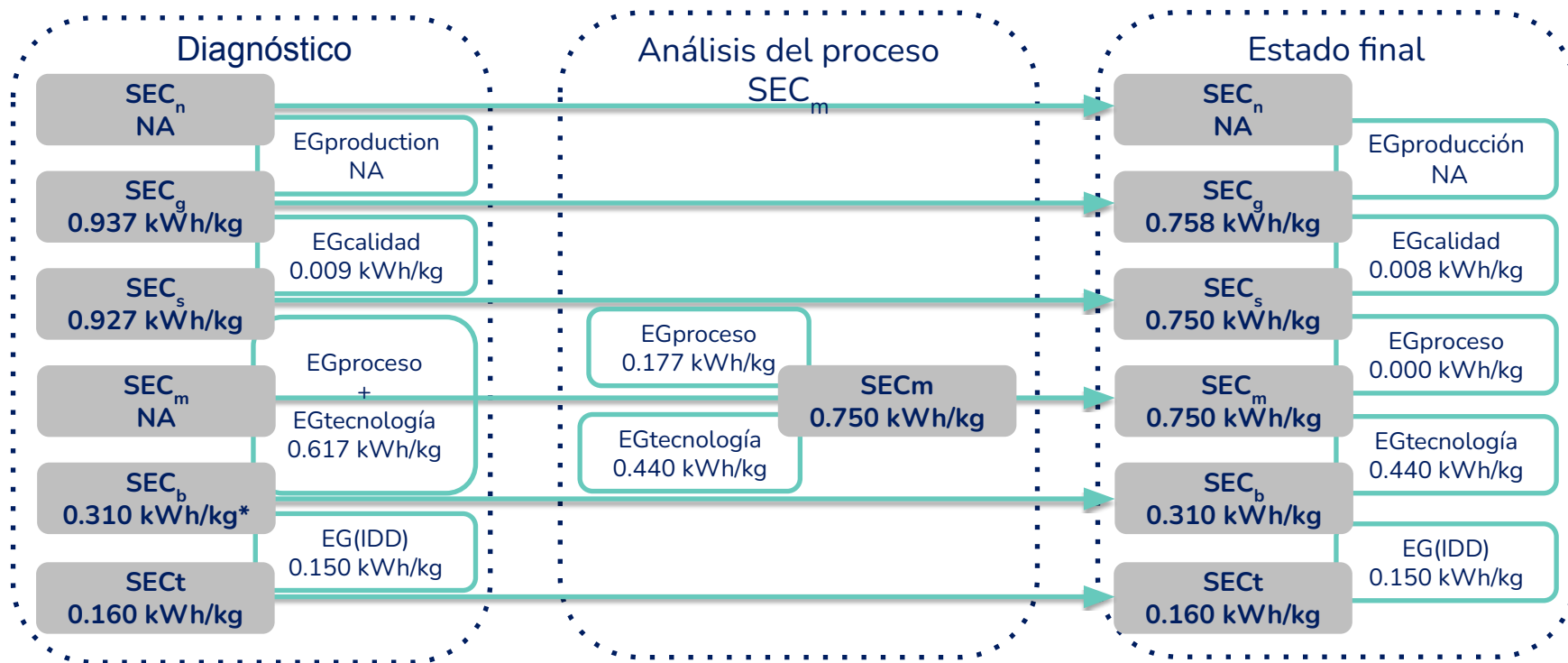
\$217.63=/kg





Resultados EGM del Proceso

*EUROMAP 60.1 inyectora clase 9



El método de brechas energéticas permite identificar dónde se deben concentrar los esfuerzos para el mejoramiento en el uso eficiente y racional de la energía.

Resultados EGM del Proceso

Producción total estimada en un año

Horas de trabajo efectivo	7,200 h
Producción anual	102,794 kg/año
Precio energía	\$414/kWh
SEC inicial	0.927 kWh/kg
SEC final	0.750 kWh/kg
Reducción porcentual	19.09 %
Ahorro	0.177 kWh/kg
Energía ahorrada	18,188 kWh/año
Dinero ahorrado	\$7,529,832/año

Productividad promedio antes	14.3 kg/h
Productividad promedio después	15.2 kg/h
Aumento porcentual	6.4 %
Producción anual después	109,335
Aumento producción anual	6,480 kg/año
Utilidad estimada (10% costo de la materia prima)	\$450/kg
Utilidad adicional	\$2,916,000/año



Conclusiones

- Las herramientas de monitoreo remoto, permiten conocer en tiempo real el estado de los equipos de procesamiento.
- Las herramientas de monitoreo remoto permiten hacer análisis del desempeño de los procesos para el mejoramiento continuo.
- Se requiere de un conocimiento técnico del proceso, para poder interpretar la relación entre las variables energéticas y las variables de proceso.
- La implementación de un programa de mejoramiento energético en los procesos de transformación de polímeros, trae consigo un aumento tanto en el desempeño energético de los equipos como en el mejoramiento de los parámetros de calidad de la pieza y la productividad



INSTITUTO DE
CAPACITACIÓN
E INVESTIGACIÓN
DEL PLÁSTICO Y
DEL CAUCHO

¡Gracias!

Carrera 49 #5 Sur 190. Bloque 37
+574 3116478
Medellín, Colombia
icipc@icipc.org - <https://icipc.org>



@ICIPCmedellin



@ICIPC



@ICIPC_Medellin



@ICIPC