

CONVENIO ENTRE LA FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA INNOVACIÓN DE LA COMUNITAT VALENCIANA Y LA UNIVERSIDAD CEU CARDENAL HERRERA PARA EL DESARROLLO EN COLABORACIÓN DE ACTIVIDADES

PROYECTO: “Análisis de los parámetros críticos de las líneas de estampación para la mejora de su rendimiento”

OBJETO: TRABAJO DESEMPEÑADO Y AVANCES LOGRADOS DURANTE LA ANUALIDAD 2

INVESTIGACIÓN DETECCIÓN DE GRIETAS PROCESO ESTAMPACIÓN

1. Hacia el Big Data del proceso de estampación

1.1. Obtención de los datos de las prensas

En esta segunda anualidad se ha desarrollado un sistema de toma de datos del proceso de estampación en tiempo real, con el objetivo de expandirlo al resto de líneas y con ello crear un Big data del proceso de estampación. Para ello, nos hemos basado en el estándar de los minitérminos el cual ya estaba instalado en gran cantidad de equipos donde eran capaces de medir el tiempo de actuación de miles de componentes, pero en nuestro caso, para las prensas era necesario obtener parámetro de trabajo como presiones de los diferentes componentes, cargas realizadas por la prensa, velocidad, temperaturas, etc. Para ello se obtenía el dato del PLC una vez por ciclo y se enviaba este dato. Para el desarrollo de la tesis es necesario obtener información durante todo el ciclo, por eso se planteó el criterio 360, donde obteníamos un dato por cada posición de prensa, teniendo un ciclo 360 posiciones debido al ángulo del giro del eje principal del sistema de excéntricas. Para ello se planteó una estructura de envío como la que se muestra en la siguiente imagen. Siendo así capaces de obtener 360 de cada sensor para cada ciclo, siendo que el ciclo dura aproximadamente 4 segundos estamos obteniendo 1 dato cada 10ms por cada sensor. Dentro del criterio se definieron unas cabeceras de envío para facilitar el reconocimiento de los datos que se enviaban y guardarlos de manera ordenada en la base de datos, para cada tipo de sensor se le ha adjudicado un ID que van del

CRITERIO 360				
	Tag de PLC	Descripción	Rango	Valor Ejemplo
	yyPdM_Actual_T[1]	Criterio	360	360
	yyPdM_Actual_T[2]	Golpe prensa	1-9999	3256
	yyPdM_Actual_T[3]	JobID Item prensa	1-999	63
1	yyPdM_Actual_T[4]	Device	30-39	30
	yyPdM_Actual_T[5]	Channel	1-99	1
	yyPdM_Actual_T[6]	F en G1	0-MaxINT	250
	yyPdM_Actual_T[7]	F en G2	0-MaxINT	262

	yyPdM_Actual_T[363]	F en G358	0-MaxINT	
	yyPdM_Actual_T[364]	F en G359	0-MaxINT	
	yyPdM_Actual_T[365]	F en G360	0-MaxINT	
2	yyPdM_Actual_T[366]	Device	30-39	33
	yyPdM_Actual_T[367]	Channel	1-99	8
	yyPdM_Actual_T[368]	Acel. Y en G1	0-MaxINT	250
	yyPdM_Actual_T[369]	Acel. Y en G2	0-MaxINT	262

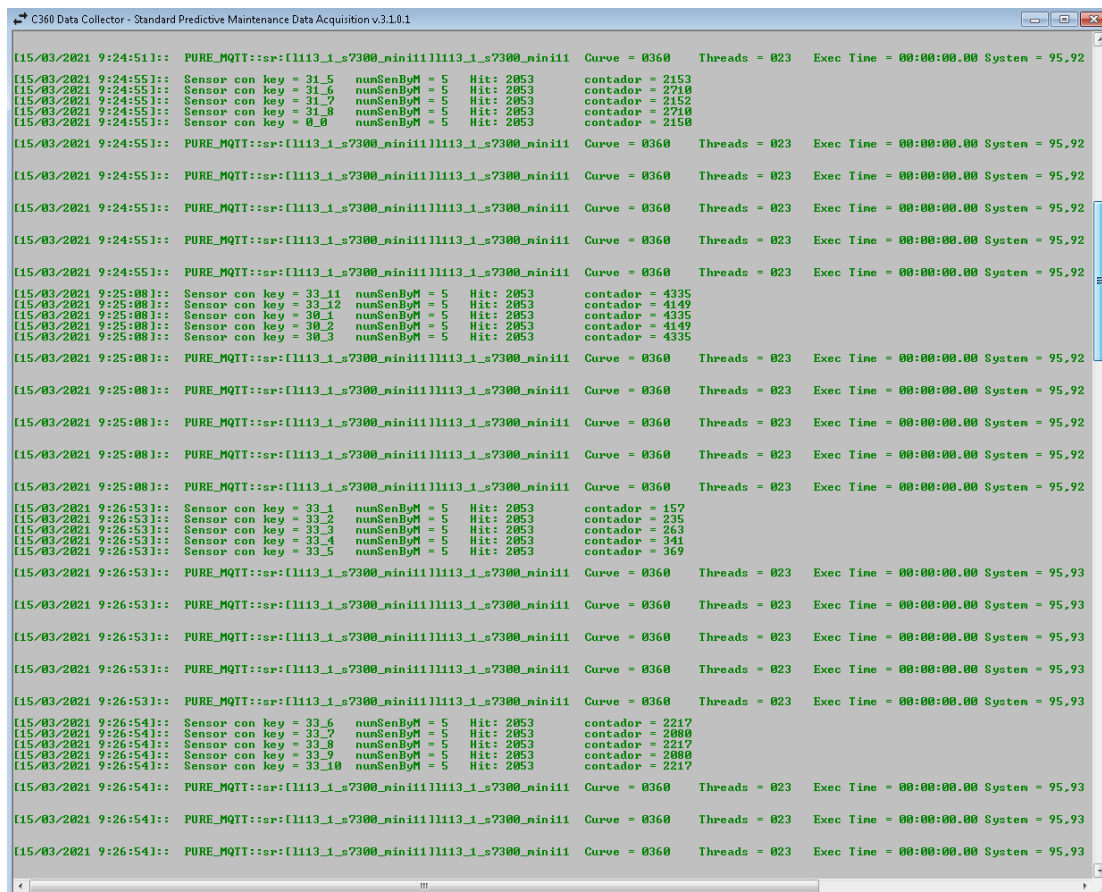
	yyPdM_Actual_T[725]	Acel. Y en G358	0-MaxINT	
	yyPdM_Actual_T[726]	Acel. Y en G359	0-MaxINT	
	yyPdM_Actual_T[727]	Acel. Y en G360	0-MaxINT	
3	yyPdM_Actual_T[728]	Device	30-39	30
	yyPdM_Actual_T[729]	Channel	1-99	3
	yyPdM_Actual_T[730]	F en G1	0-MaxINT	250
	yyPdM_Actual_T[731]	F en G2	0-MaxINT	262

4	yyPdM_Actual_T[1090]	Device	30-39	30
	yyPdM_Actual_T[1091]	Channel	1-99	3
	yyPdM_Actual_T[1092]	F en G1	0-MaxINT	250
	yyPdM_Actual_T[1093]	F en G2	0-MaxINT	262

5	yyPdM_Actual_T[1452]	Device	30-39	31
	yyPdM_Actual_T[1453]	Channel	1-99	1
	yyPdM_Actual_T[1454]	P en G1	0-MaxINT	550

	yyPdM_Actual_T[1813]	P en G360	0-MaxINT	450

rango 30-39 y dentro de cada tipo de sensor un canal, por ejemplo si estamos midiendo la presión del cojín (Device Number 31) en el cilindro 4 (Device Channel 4) este sensor se queda almacenado en la base de datos con el ID 31_4 y así para cada sensor de los que se están monitorizando. Una vez definido el criterio de envío para programar en el PLC era necesario desarrollar una aplicación a instalar en el DXD de prensas que sea capaz de comunicarse con el PLC, coger el telegrama de datos y mandarlo a la base de datos. La aplicación desarrollada en el lenguaje C# coge los datos de hasta dos telegramas por ciclo, es decir 10 sensores, y los clasifica de manera que podamos saber el momento en el que se ha medido dicho mensaje y de que item es. Luego envía el mensaje a la cola del servidor de MQTT que gestiona los envíos de los miniterminos para luego almacenar los datos en la base de datos de Elasticsearch. En la siguiente imagen se puede ver la aplicación de consola que capta los dos mensajes en tiempo real, donde el retraso que hay lo podemos considerar casi despreciable, desde que el ciclo de la prensa acaba y este recibe los datos pasan apenas unos segundos.



```

[15/03/2021 9:24:51]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,92
[15/03/2021 9:24:55]: Sensor con key = 31_5 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 2153
[15/03/2021 9:24:55]: Sensor con key = 31_6 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 2710
[15/03/2021 9:24:55]: Sensor con key = 31_7 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 2152
[15/03/2021 9:24:55]: Sensor con key = 31_8 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 2710
[15/03/2021 9:24:55]: Sensor con key = 0_0 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 2150
[15/03/2021 9:24:55]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,92
[15/03/2021 9:24:55]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,92
[15/03/2021 9:24:55]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,92
[15/03/2021 9:24:55]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,92
[15/03/2021 9:24:55]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,92
[15/03/2021 9:25:08]: Sensor con key = 33_11 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 4335
[15/03/2021 9:25:08]: Sensor con key = 33_12 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 4149
[15/03/2021 9:25:08]: Sensor con key = 30_1 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 4335
[15/03/2021 9:25:08]: Sensor con key = 30_2 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 4149
[15/03/2021 9:25:08]: Sensor con key = 30_3 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 4335
[15/03/2021 9:25:08]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,92
[15/03/2021 9:25:08]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,92
[15/03/2021 9:25:08]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,92
[15/03/2021 9:25:08]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,92
[15/03/2021 9:25:08]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,92
[15/03/2021 9:26:53]: Sensor con key = 33_1 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 157
[15/03/2021 9:26:53]: Sensor con key = 33_2 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 235
[15/03/2021 9:26:53]: Sensor con key = 33_3 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 263
[15/03/2021 9:26:53]: Sensor con key = 33_4 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 341
[15/03/2021 9:26:53]: Sensor con key = 33_5 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 369
[15/03/2021 9:26:53]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,93
[15/03/2021 9:26:53]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,93
[15/03/2021 9:26:53]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,93
[15/03/2021 9:26:53]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,93
[15/03/2021 9:26:53]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,93
[15/03/2021 9:26:54]: Sensor con key = 33_6 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 2217
[15/03/2021 9:26:54]: Sensor con key = 33_7 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 2080
[15/03/2021 9:26:54]: Sensor con key = 33_8 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 2217
[15/03/2021 9:26:54]: Sensor con key = 33_9 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 2080
[15/03/2021 9:26:54]: Sensor con key = 33_10 numSenByM = 5 Hit: 2053 contador = 2217
[15/03/2021 9:26:54]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,93
[15/03/2021 9:26:54]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,93
[15/03/2021 9:26:54]: PURE_MQTT::sr:[1113_i_s7300_minii|1113_i_s7300_minii] Curve = 0360 Threads = 023 Exec Time = 00:00:00.00 System = 95,93

```

Uno vez conseguido esto, era necesario gestionar una serie de índices en la base de datos NoSQL donde almacenar la información para su posterior gestión, teniendo así un acceso directo a los datos almacenados, en la siguiente imagen tenemos el ejemplo de los datos almacenados del sensor del tonelaje de la columna delantera izquierda para un ciclo, con toda

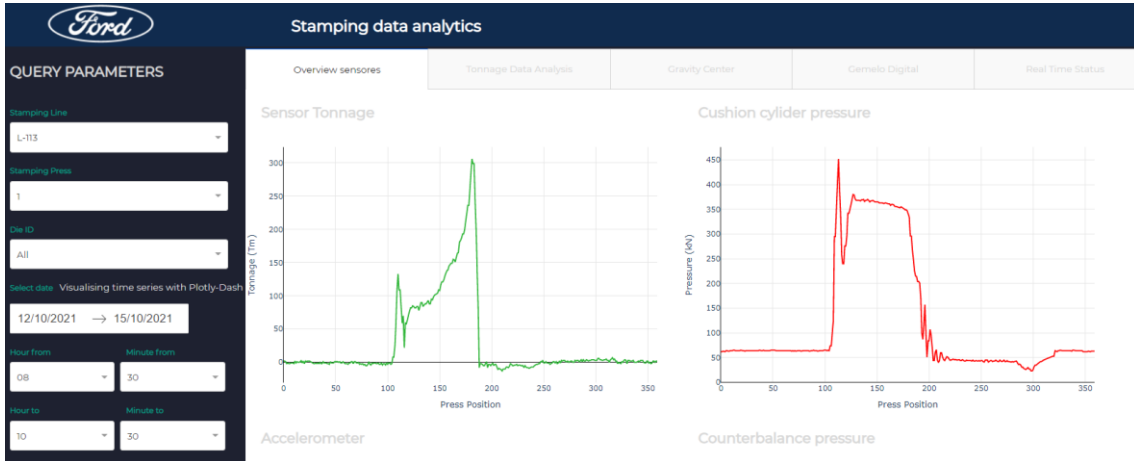
```

17 +
18 +
19 +
20 +
21 +
22 +
23 +
24 +
25 +
26 +
27 +
28 +
29 +
30 +
31 +
32 +
33 +
GET mqtt-mv/_search
{
  "source": {
    "includes": [
      "topic_id",
      "date",
      "matrix_id",
      "line",
      "hit",
      "message"
    ]
  },
  "size": 1000000,
  "sort": [ { "date": { "order": "desc" } } ],
  "query": {
    "bool": {
      "must": [
        {
          "wildcard": {
            "topic_id": "0145a.sr-(1113_1_s7300_mini03)1113_1_s7300_mini03.30_4.*"
          }
        }
      ],
      "filter": [
        {
          "range": { "date": { "gte": "2021-09-22T07:00:00Z", "lte": "2021-09-22T11:00:00Z" } }
        }
      ]
    }
  }
}
{
  "_index": ".ds-mqtt-mv-000007",
  "_type": "doc",
  "_id": "ydwPDxwBKDJTzWvB334",
  "_score": null,
  "_source": {
    "date": "2021-09-22T10:31:10.8120345Z",
    "hit": 462,
    "line": "L113",
    "matrix_id": 33,
    "topic_id": "0145a.sr-(1113_1_s7300_mini03)1113_1_s7300_mini03.30_4_33",
    "message": """"["curve": [3, 3, 2, 1, -1, 2, -2, -2, -1, -1, 2, -1, -2, 1, 2, 2, -1, -1, -2, -2, 2, 2, -1, -1, 3, 2, -2, -1, -2, 0, -2, -1, 0, 0, -1, -1, -2, -2, 0, -1, 1, -2, -3, -1, -2, -2, -1, -3, -3, 1, 1, 0, -1, -1, -2, -2, -2, -2, -2, -1, -1, -2, -2, -1, -1, -1, -2, -1, -3, -2, -3, 0, -1, -4, -2, -2, -3, -4, -3, -4, -4, -2, -2, -1, -2, -1, -3, -2, -1, -4, 1, -3, -2, -2, -3, -2, -3, -3, -1, -1, -1, 7, 15, 12, 9, 17, 16, 12, 12, 15, 15, 20, 27, 98, 120, 126, 126, 122, 96, 27, 36, 67, 78, 74, 72, 78, 80, 81, 82, 90, 89, 90, 92, 94, 93, 95, 93, 95, 93, 90, 90, 94, 94, 94, 95, 94, 95, 93, 94, 92, 93, 93, 91, 91, 94, 96, 97, 100, 101, 101, 109, 105, 107, 107, 107, 114, 110, 119, 119, 124, 125, 127, 145, 160, 166, 144, 144, 76, 42, 27, 35, 44, 35, 28, 28, 30, 31, 24, 15, 15, 15, 12, 12, 3, 3, 7, 8, 10, 6, 6, 3, 3, 6, 5, 5, 4, 3, 5, -1, -7, -7, -4, -4, -4, -10, -10, -9, -9, -7, -5, -8, -7, -5, -3, -5, -4, -4, -3, -1, -2, -2, -5, -4, -4, -4, -7, -7, -5, -3, -2, -2, -3, -3, -3, -1, -2, -2, -1, 0, -2, 1, 1, 1, 4, 1, 2, 2, -1, 2, 2, 2, 3, 3, 1, 1, 2, 2, 1, 2, 2, 4, 2, 1, 3, 5, 3, 4, 5, 4, 5, 5, 6, 6, 5, 5, 3, 4, 4, 2, 2, 4, 4, 3, 3, 4, 4, 5, 5, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, -1, -2, -2, 0, -1, 1, 1, 0, 0, 3, 1, 2, 3, 2, 2, 4, 2, 2, 1, 2, 3, 3, 1, 3, 5, 4, 2, 0, 3, 2, 0, -2, 2, 1, 0, 2, 2], "date": "2021-09-22T10:31:10.8120345Z", "device_channel": 4, "device_criteria": 360, "device_type": 30, "hit": 462, "host": "vulminitermsam", "line": "L113", "matrix_id": 33, "plant": "0145a", "press": 1, "topic_id": "0145a.sr-(1113_1_s7300_mini03)1113_1_s7300_mini03.30_4_33""""
  },
  "sort": [
    ]
  }
}
    
```

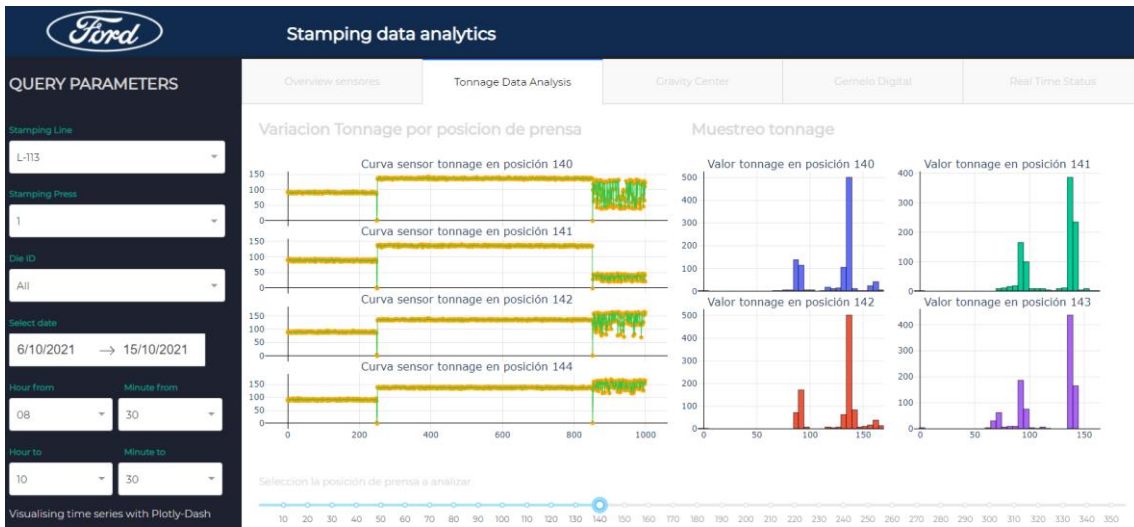
la información necesaria para identificar estos datos como la fecha, la matriz, el golpe en la producción, la línea y la prensa.

1.1. Visualización de los datos

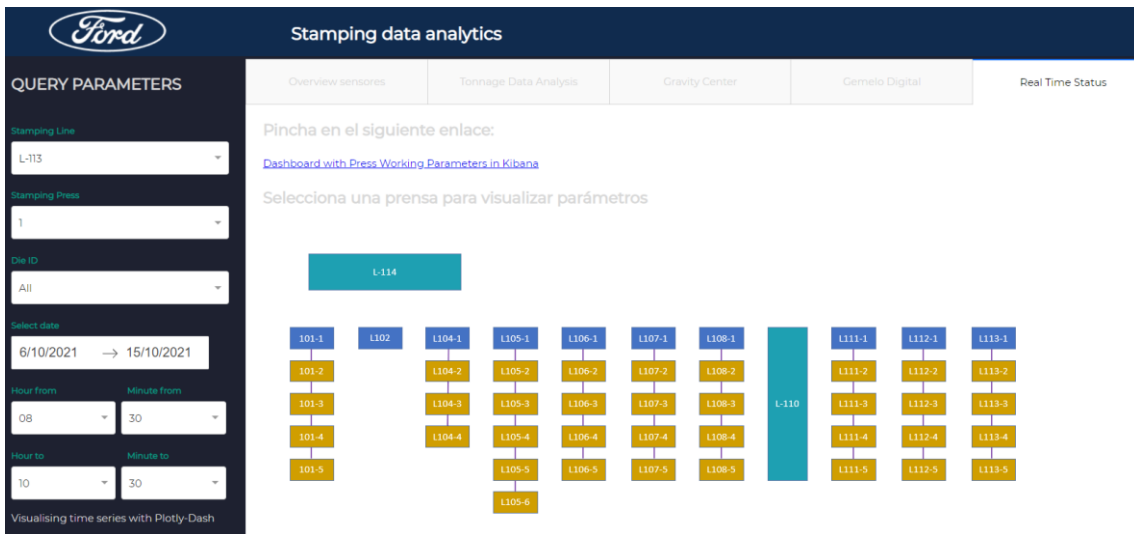
Para la visualización de los datos del proceso de estampación se ha desarrollado una plataforma web, la cual nos permite hacer búsqueda de los parámetros medidos con la finalidad de tener una mayor información del proceso para poder analizar parámetros de trabajo en el momento que se ha encontrado alguna anomalía, dando la posibilidad de encontrar el problema con mayor rapidez. La aplicación se ha desarrollado utilizando el lenguaje de Python, el aspecto se muestra en la siguiente imagen.



Dándonos diferentes posibilidades como la visualización de los distintos sensores, analizar el comportamiento de los parámetros en una posición específica del ciclo como vemos en la siguiente imagen, donde podemos ver los valores medidos del tonelaje en la posición 140 a 143.



E incluso tenemos un mapeo de la planta para poder analizar por cada prensa los valores que ya se estaban midiendo anteriormente del criterio 11 que ya se desarrollaron los dashboards pertinentes en la anualidad anterior, en este caso solo podemos visualizar las de la línea L-113 y alguna línea de la L-104 ya que es donde estamos haciendo todas la pruebas, pero esto está enfocado a extender el sistema a toda la planta y poder conocer el estados de cada prensa, estando cada vez un paso mas cerca de las factorías del futuro teniendo todos los equipos conectados y obteniendo información del proceso en tiempo real.



2. Hacia el un sistema predictivo de la salud de la prensa

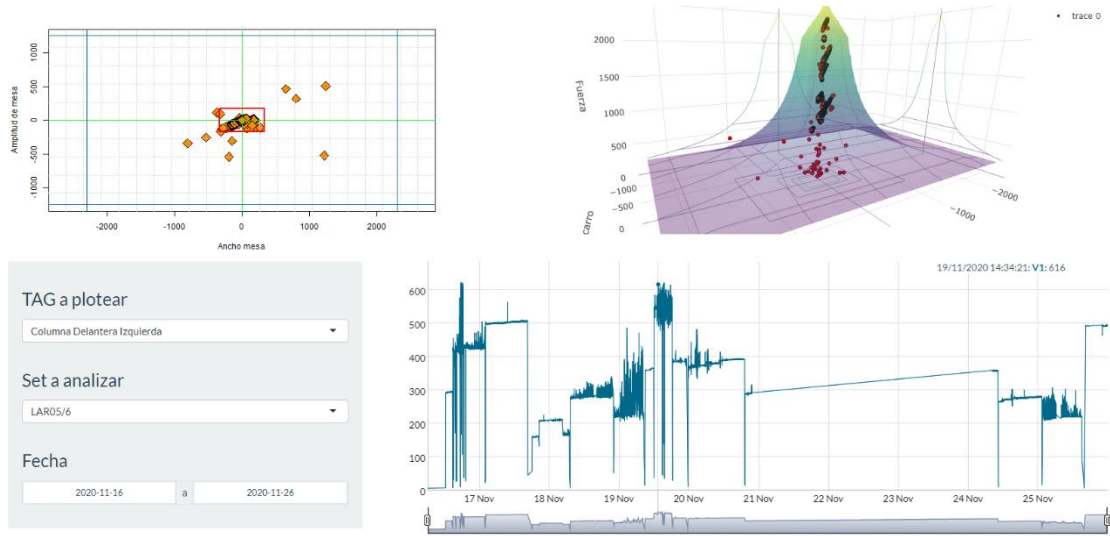
Una vez obtenidos los datos en tiempo real se abre una puerta a una gran cantidad de aplicaciones, como por ejemplo, predecir averías en las prensas. Para ello se ha usado la medida del tonelaje y se ha desarrollado un sistema de detección del centro de gravedad del carro, para conocer el estado de la pisada en todo momento.



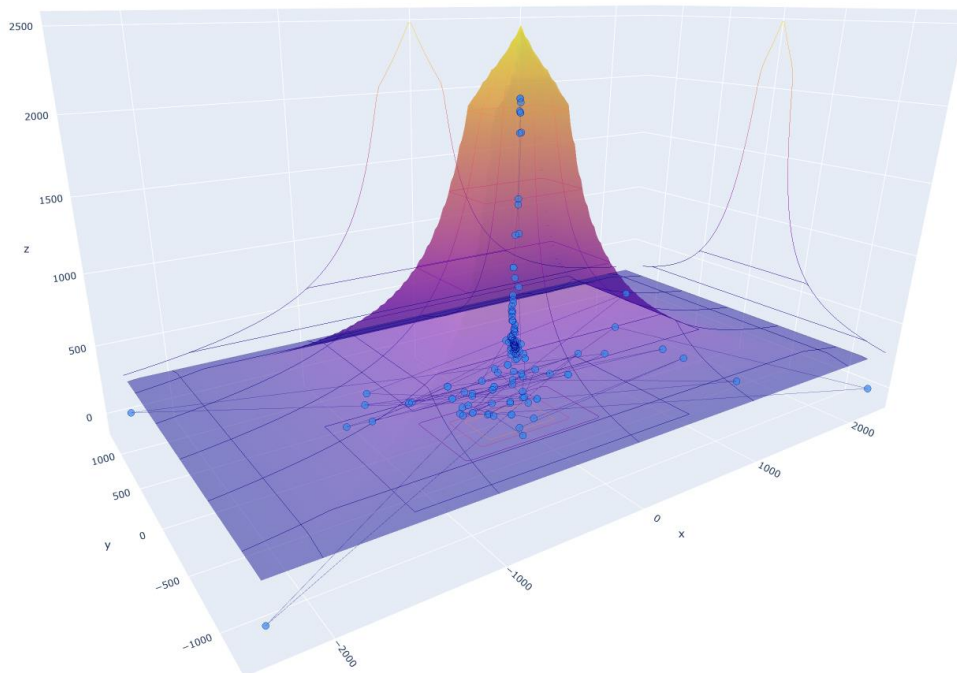
2.1. Monitorización del Centro de Gravedad

La medición y corrección del paralelismo de la prensa, en caso de estar desviado, es una prueba de mantenimiento fundamental que se lleva a cabo en todas las prensas para asegurar que cada pisada se está realizando correctamente, de no ser así esto puede llevar a grandes averías en el sistema de transmisión de excéntricas de las prensas y esto se debe evitar a toda costa. Por lo tanto, con los datos medidos del tonelaje con nuestro sistema nos da la posibilidad de obtener el centro de gravedad en cada golpe que se realiza en producción y conocido el centro de gravedad podemos saber si la pisada de la prensa está descentrada o no. En la siguiente imagen se muestra un dashboard donde se puede ver la medición del centro de gravedad para un cierto periodo de tiempo, siendo capaces de monitorizar que tan desviada puede llegar a estar una prensa.


Criterio 360
CDG
Tonnage
Hidráulic cushion
Accelerometre



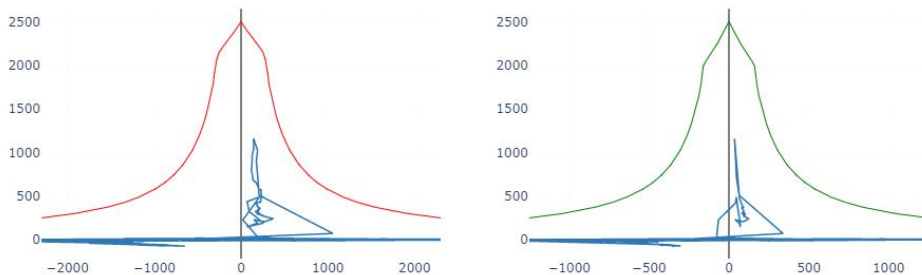
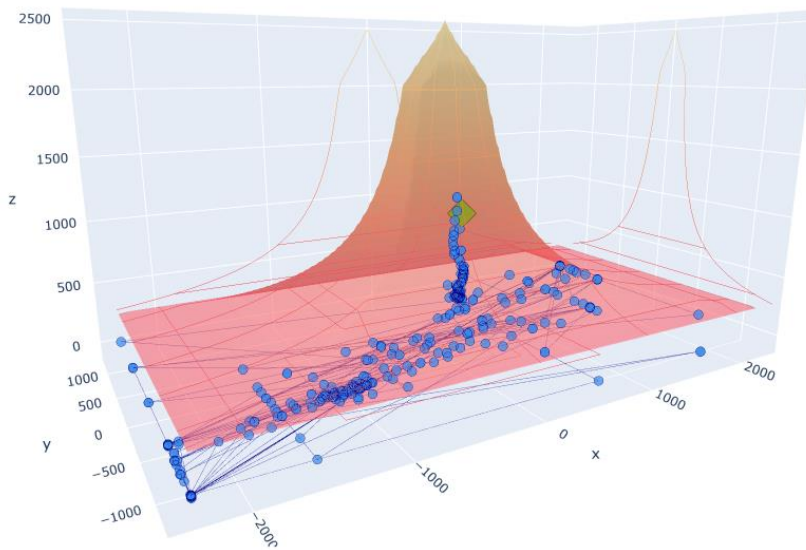
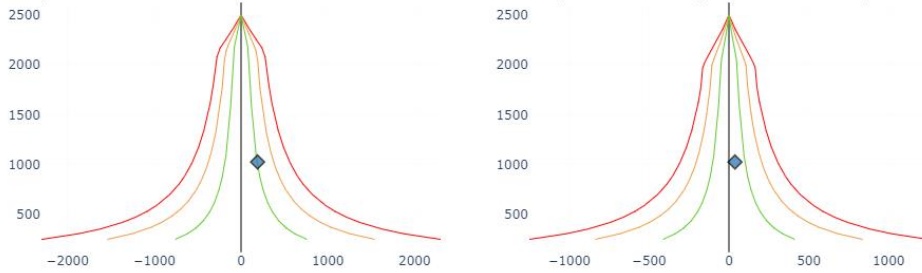
En la siguiente imagen en 3D vemos el centro de gravedad medido para un ciclo, donde los ejes X e Y indican que tan descentrado está el centro de gravedad para cada posición de prensa, que son los puntos azules que se muestran y en el eje Z se muestra el esfuerzo que está realizando la prensa en cada posición del ciclo.



Se puede ver claramente que conforme el esfuerzo aumenta la pisada la podemos considerar correcta porque los puntos del centro de gravedad salen centrados, por tanto en el caso de encontrar algún punto que se desvíe en repetidas ocasiones podríamos afirmar que la calidad de la pisada de la prensa está empeorando, hay que decir que hay ítems que por su geometría donde puede haber más embutición en una zona que otra puede que de un centro de gravedad más desviado en algún punto del ciclo pero esto se considerará normal para esa pieza. Por tanto,

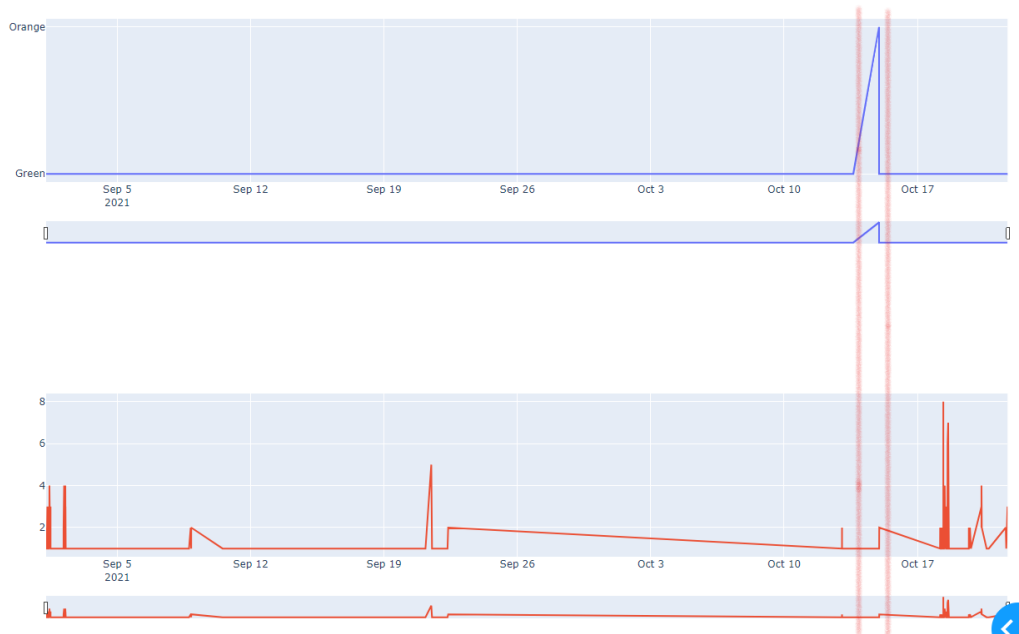
una vez alcanzado este punto, para poder monitorizar cómo se comporta la prensa se ha desarrollado un sistema de alarmas que controla las veces que se desvían el centro de gravedad del centro, dentro de unos límites previamente establecidos como los que se pueden ver en la siguiente imagen. Aquí podemos ver el informe que se genera automáticamente donde encontramos la información acerca del punto anómalo,

Topic: 0145a.sr-(l113_1_s7300_mini03)|l113_1_s7300_mini03.30_1.63
Fecha: 2021-06-15T23:23:42.2479999Z
Ha pasado el límite de estabilidad en Línea: L113 Item/Set: 63 Golpe: 2975 En la posición: 183



Sabemos en que momento la prensa se ha salido de los límites de seguridad, y hacemos un recuento de dichos puntos y los almacenamos en un histórico para poder visualizar el

comportamiento de la prensa. Actualmente se está diseñando un sistema de alarmas que haga un recuento de los puntos anómalos que exceden el límite naranja, que indicaría que estamos cerca del límite de esfuerzo de la prensa, y para un cierto número de repeticiones se mandaría una alarma vía webex o vía mail para que se hagan las pertinentes revisiones en el equipo por el personal del taller.



En la imagen podemos ver el recuento de eventos que han sucedido cuando se excedían los límites de seguridad y vemos que normalmente suele exceder el límite verde, con un máximo de 8 puntos en un mismo día, cosa que no es alarmante. Luego tenemos un caso en el cual que salieron alarmas naranjas un total de dos veces dentro de la producción diaria.

3. Factories of the future award





El desarrollo del sistema de monitorización de datos junto con el sistema de monitorización del centro de gravedad ha consumido la mayor parte de la presente anualidad. Sobre este tema se ha conseguido un reconocimiento industrial, ya que en el industry 4.0 congress se ha reconocido al proyecto con el Factories of the future award en la categoría en la categoría de “Liderazgo en la transformación digital de la planta industrial”. También se ha publicado un artículo científico en el ICINCO 2021, ver [1].

4. Hacia el Gemelo Híbrido Digital para de determinar la calidad de las piezas producidas.

Otra de las aplicaciones en las que se ha comenzado a trabajar en la presente anualidad es en la detección de la calidad del producto estampado se está siguiendo la vía de realizar una simulación online, paralela a la producción en tiempo real, la cual podemos alimentar con los datos tomados del proceso por el sistema desarrollado hasta el momento. El gran reto llegado a este punto es ser capaces de conseguir un indicador de la calidad de la pieza en el proceso del tiempo de ciclo, para ello varias técnicas de cálculo de simulación y Deep-Learning deben ser evaluadas y testeadas, además de aplicar las ecuaciones físicas que se ajusten de la mejor manera al proceso.

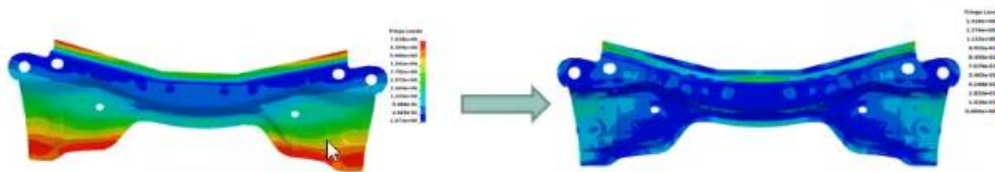
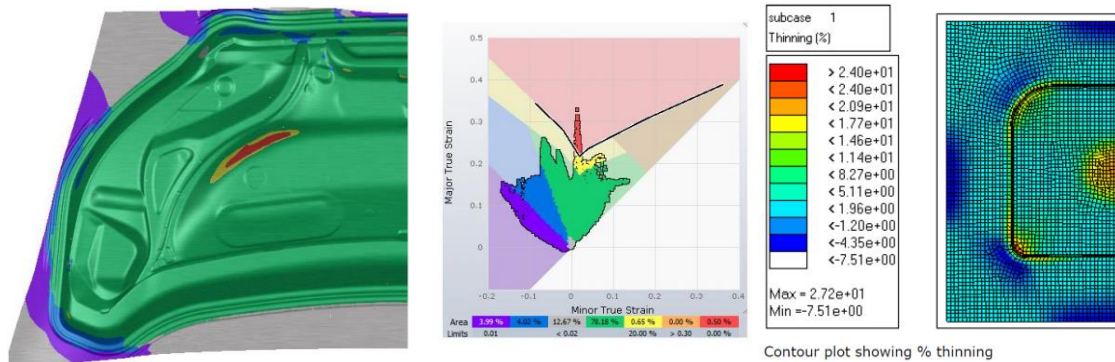
El proceso para llegar a fabricar las diferentes piezas del chasis de un vehículo consta de varias etapas. Este se inicia con el diseño de las diferentes partes, desde el prototipado, la realización del CAD, y la comprobación de que la geometría de cada uno ajuste obteniendo un producto final validado, luego se pasa a la simulación donde se obtienen parámetros físicos que verifiquen si es posible la fabricación de estas piezas cumpliendo diferentes requisitos, tanto estructurales como de diseño. Por tanto, con todo esto validado se manda a fabricar la matriz para conformar la chapa en una futura pieza del vehículo y por otro lado se configuran las líneas de estampación conforme los parámetros óptimos obtenidos de la simulación para empezar con la fabricación en masa. Lo que suele suceder en este proceso del diseño a la fabricación es que es fácil que los parámetros, tanto de material como de proceso se deban modificar, debido a que los resultados obtenidos en la simulación respecto a los de la realidad difieran, ya que los modelos físicos utilizados para calcular el comportamiento de la chapa dependiendo de en qué situación pueden acercarse en mayor o menor medida al resultado real. Incluso estos parámetros de trabajo varían conforme avanza la producción ya que el proceso es muy volátil y hay variaciones con frecuencia, ya bien sea por desgaste de la matriz, desajuste en estado de trabajo de la prensa o problemas en el material utilizado y esto repercute directamente en la calidad de la pieza final, ya sea por aparición de fisuras, de arrugas, gripados, entre otras. Para controlar que cada pieza fabricada sea adecuada y no se pasen piezas defectuosas en el filtro de calidad, las empresas de automoción invierten grandes recursos en ello por varios factores. Uno es que si una pieza defectuosa pasa a siguientes procesos de fabricación el coste cuando se localiza dicho defecto es más elevado y dos los esfuerzos por parte de los equipos de calidad y de procesos para asegurar que se está realizando un correcto funcionamiento son muy altos. Es decir, consumen muchos recursos de la empresa sumando unos costes que repercuten en el beneficio final del producto.

Además de los nombrado arriba, puede llegar a pasar que por mucho que los encargados de producción intenten ajustar parámetros o sigan los diferentes pasos para solucionar los problemas de la pieza, no lleguen a conseguirlo y no sepan identificar la patología. Para ello el equipo de calidad obtiene un FLD de la pieza producida utilizando un proceso que con unas cámaras de visión artificial realizan unas capturas de la pieza, que previamente se le ha impreso un mallado, donde nos indican que parte ha tenido más deformación crítica, indicando cuales son las partes de la pieza que más factor de fallo tienen para poder ajustar de manera más efectiva ya bien sea la matriz o los parámetros del BHF (blank holder force), velocidad de prensa de estampación, etc. Con todo esto se llega al pensamiento de que sería de gran interés desarrollar una herramienta online que durante el proceso pudiera indicar al encargado de la

línea de estampación si la pieza tiene peligro o no de ser defectuosa. Basándose en las herramientas tecnológicas y computacionales que tenemos hoy en día se propone la realización de una herramienta digital que sea capaz de indicar en tiempo real el estado de cada pieza.

Resultados más comunes que se obtienen de la simulación (entre otros) para definir parámetros de trabajo son los siguientes.

- Porcentaje de estiramiento
- Forming Limit Diagram
- Compensación del límite elástico
- Deformación en la embutición



Para la obtención de los resultados los inputs necesarios en un software de simulación de estampación son, la geometría final de la pieza, la dimensión de la lámina a embutir, propiedades del material como el espesor, el recubrimiento, la rugosidad de la superficie, también parámetros de prensa como la velocidad de embutición, esfuerzo de prensa, lubricación. Para la obtención de estos resultados la capacidad computacional requerida es muy alta y se requieren varias horas de cálculo. Nuestra propuesta se basa en intentar calcular una variable en los puntos de la lámina donde tenemos las medidas de los sensores e intentar extrapolar el comportamiento del material a lo largo de la superficie.

Para ello vamos a tomar como punto de partida el comportamiento del material en el freno, a lo largo de toda la matriz, que a partir de los datos del cojín y tonelaje se va a presentar un modelo de como se comporta el material para obtener su deformación.



Los datos marcados con el círculo es el momento en que las matrices entran en contacto y el material de la chapa se deforma a lo largo de la geometría del freno que presenta la matriz. Para obtener la fricción se va a utilizar la formula

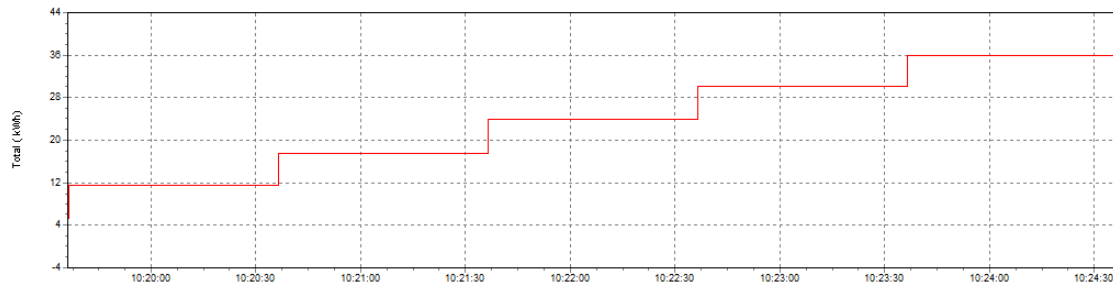
$$\mu = \frac{1.849P + 13.3}{(P + 2.446)(0.9193P + 1.467 + v)'}$$

obtenida de la publicación de Dou, S., & Xia, J. (2019). Analysis of sheet metal forming (stamping process): A study of the variable friction coefficient on 5052 aluminum alloy. *Metals*, 9(8), 853. Donde proponen esta ecuación y muestran resultados de acierto del coeficiente de fricción con un 97.5% de precisión. En su investigación el coeficiente de fricción depende de la velocidad de estampación y de la carga ejercida por la prensa. Y una vez obtenida la fricción se puede obtener el espesor en los diferentes puntos del material. En esta línea se ha publicado un artículo en el JIC 2021, ver [2].

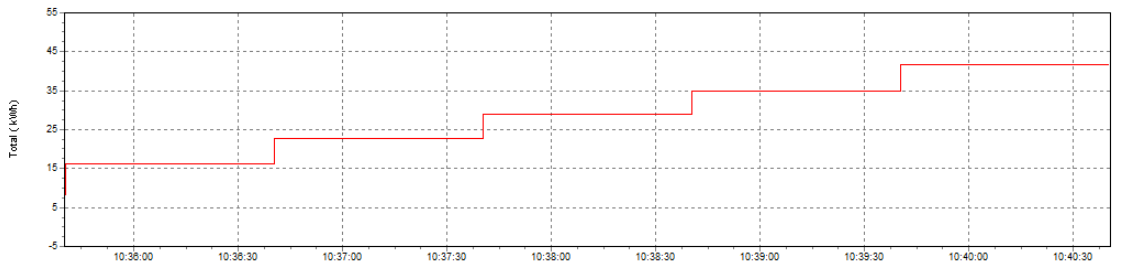
5. Nuevas propuestas de sistemas de predictivo y control del proceso a través del Big Data de Estampación.

La herramienta de monitorización de la prensa en tiempo real abre un abanico de posibles aplicaciones que todavía desconocemos ya que nos permite observar el proceso en profundidad. Gracias a este sistema fuimos capaces de detectar una pieza que se había cambiado de la línea L-104 a la línea L-113 trabajando a unos esfuerzos mucho mayores de los que estaban preestablecidos del diseño. El esfuerzo estaba cerca del límite de prensa además era una pieza que no presentaba casi embutición, después de realizar varias comprobaciones y pruebas conseguimos bajar el esfuerzo de la prensa de 2300 Tm a 1600 Tm y a partir de ahí surgió la idea de intentar relacionar esfuerzo ejercido por la prensa con el consumo eléctrico, siendo capaces controlando el proceso de conseguir dos grandes mejores para el sistema. Por un lado, conseguir un mayor ahorro energético para la producción de la pieza, que esto se traduce en un mayor ahorro en el consumo de luz reduciendo el coste de fabricación de la pieza y por otro lado, alargando la vida útil tanto de la prensa como de la matriz evitando que aparezcan averías a corto plazo. Hasta el momento se han realizado las primeras medidas de consumo para la pieza

identificado y podemos ver claramente que el consumo es mucho menor cuando el esfuerzo de la prensa fabrica la pieza a 1600 Tm. Donde para una misma ventana temporal de 6 minutos de producción el consumo en 2300 Tm ha sido de 41.66kWh y cuando el tonelaje ha sido modificado a 1600 Tm el consumo en el mismo periodo de tiempo ha sido 35.55 kWh. Esto abre nuevas posibilidades intentado optimizar al máximo el consumo ajustando nuevas variables de trabajo como podría ser la presión de compensación para cada ítem e incluso reajustar el tonelaje en los ítems que estén produciéndose muy superiores al esfuerzo parametrizado en el diseño. La primera imagen muestra el consumo para el esfuerzo de 1600Tm

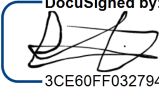


Y la segunda imagen para un esfuerzo de 2300 Tm.



6. Referencias

- [1] I.Peinado-Asensi, N.Montés, E.Garcia. *Towards Real Time Predictive System for Mechanical Stamping Presses to Assure Correct Slide Parallelism*.18th International Conference on Informatics Control, Automation and Robotics ICINCO 2021.
- [2] I.Peinado-Asensi, N.Montés, E.Garcia. *Towards an Hybrid Twin for Industrial Stamping Processes*. 6th ECCOMAS Young Investigators Conference YIC2021

DocuSigned by:

 3CE60FF032794D1...
 oct.-29-2021

Fdo. D. Iván Peinado Asensi
 Doctorando



<p>DocuSigned by: <i>Eduardo García Magraner</i> 98EED89F57644D3... oct.-28-2021</p> <p>Vº Bº D. Eduardo García Magraner Codirector de Tesis Fundación para el Desarrollo y la Innovación</p>	<p>DocuSigned by: <i>Nicolás Montes Sánchez</i> 0282CBB1C2D24F1... oct.-27-2021</p> <p>Vº Bº D. Nicolás Montes Sánchez Codirector de Tesis y Encargado del Seguimiento Universidad UCH CEU</p>
<p>DocuSigned by: <i>[Signature]</i> 7843E5773FBB4D1... oct.-28-2021</p> <p>Vº Bº D. Enrique Roig Pérez Encargado del Seguimiento Fundación para el Desarrollo y la Innovación</p>	