

9. ANEXOS

En esta sección están presentes todas las gráficas e ilustraciones a las que se hace referencia en la memoria.

ANEXO 1 FABRICACIÓN DE AROS Y CONOS

En este anexo se recogen los datos restantes con respecto al proceso de fabricación de rodamientos. [**Archivo fuente: Resumen proceso producción Z3**](#)

AROS

4.2.3.1 MÁQUINA DE MARCAJE DE AROS, Z3M01

En esta estación, los aros recibidos directamente del proveedor se marcan con un código datamatrix único de 20 dígitos, similar al aplicado en los conos. Este código garantiza la trazabilidad unitaria de los aros a lo largo de toda la línea de producción.

4.2.3.2 MÁQUINA DE CONTROL DE DUREZA LAMUCE-IBG, Z3M02

En esta estación se realiza un ensayo de dureza para verificar que el aro cumple con las especificaciones establecidas. Los aros que no alcanzan los parámetros requeridos, ya sea por exceso o insuficiencia de dureza, son descartados automáticamente y no se procesan.

4.2.3.3 MÁQUINA DE RECTIFICADO LAMUCE 33, Z3M03

En esta estación se rectifican las caras superior e inferior del aro exterior recibido del proveedor. A diferencia de los conos, los aros no se pueden planear en la máquina DISKUS debido a su baja estabilidad geométrica. Esto se debe a que son piezas relativamente pesadas (~3 kg), esbeltas y con una superficie de contacto limitada en sus caras, lo que generaría defectos si se usara esta máquina.

El proceso de rectificado tiene como objetivos principales:

- Centrado de las pistas del aro exterior

- Normalmente, las pistas del aro no están centradas debido a una distribución desigual del material en los extremos. Esto genera una desviación, donde las dimensiones de los extremos del aro (L_1 y L_2) no coinciden, resultando en pistas no alineadas ($L_{p1} \neq L_{p2}$).
- En esta estación se rectifican las caras superior e inferior para corregir esta desviación, logrando que las pistas queden perfectamente centradas en el aro ($L_{p1} = L_{p2}$).
- Para ello, se calcula previamente la cantidad exacta de material que debe rectificarse en cada cara.
- Cumplimiento de la altura total del aro exterior (C)
- Además del centrado de las pistas, se garantiza que el aro cumpla con la especificación de altura total. Si el aro ya presenta pistas centradas al llegar a la estación, ambas caras se rectifican de manera uniforme hasta alcanzar la altura especificada.

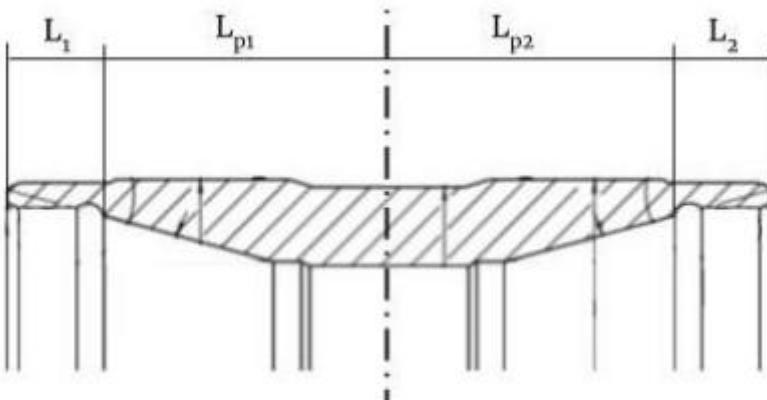


ILUSTRACIÓN 1 CORTE DEL ARO. SI LOS EXTREMOS, L_1 Y L_2 , NO TIENEN LA MISMA DIMENSIÓN (POR EXCESO O DEFECTO DE MATERIAL), LAS PISTAS NO ESTÁN CENTRADAS ($L_1 \neq L_2$).

Archivo fuente: [Resumen proceso producción Z3](#)

La estación está organizada en dos procesos principales:

- Subestación Z3M03.1: En esta etapa se mide el aro (altura y diámetro de ambas pistas) y se calcula el sobrematerial que debe ser eliminado en cada cara para alcanzar las especificaciones.
- Subestación Z3M03.2: Se lleva a cabo el rectificado final para corregir tanto el centrado de las pistas como la altura total del aro.

Este enfoque asegura que cada aro procesado cumpla con las especificaciones de calidad y precisión requeridas para su ensamblaje en las etapas posteriores.

4.2.3.4 MÁQUINA DE RECTIFICADO LAMUCE 34 (Z3M04)

Archivo fuente: [Resumen proceso producción Z3](#)

En esta estación se lleva a cabo el rectificado de las caras exteriores del aro, ajustando su diámetro exterior (D). Aunque esta operación podría realizarse en máquinas

anteriores de Fersa fuera de Z3, se decidió reacondicionar una máquina ESTARTA para integrarla en la línea y mejorar la eficiencia del proceso.

Sin embargo, esta máquina representa el verdadero cuello de botella de la línea debido a sus ineficiencias operativas. En condiciones ideales, el cuello de botella debería estar en el rectificado de conos B en la máquina NOVA 30.

Dado que el diámetro exterior (D) es una de las dimensiones críticas en el montaje, esta estación cuenta con una máquina de control dimensional inmediatamente posterior. Si esta estación detecta alguna deriva o desviación en las medidas, se genera una orden correctora para rectificar las piezas en Z3M04.

4.2.3.5 MÁQUINA DE CONTROL DIMENSIONAL LAMUCE (Z3M05)

Esta estación realiza el control del rectificado efectuado en la Z3M04. Su función principal es medir con precisión las dimensiones obtenidas y descartar las piezas que no cumplen las especificaciones establecidas.

4.2.3.6 MÁQUINA DE RECTIFICADO LIDKÖPING 35 (Z3M06)

La estación Z3M06 es una de las más relevantes de la línea, ya que en ella se rectifican las pistas del aro, ajustando sus dimensiones y la distancia entre ellas. Este rectificado es crucial, ya que afecta directamente a parámetros clave como:

- La distancia entre pistas.
- La precisión en la Ti inversa.
- La holgura axial del rodamiento final.

Se ha determinado que cada micrómetro de desviación en el diámetro rectificado genera una variación de 4 micrómetros en la holgura axial, destacando la precisión necesaria en esta estación.

Configuración de la Muela

La máquina utiliza una muela específica con cuatro superficies funcionales:

- S2 y S3: Superficies destinadas al rectificado de las pistas, que contienen el negativo del perfil del aro.
- S1 y S4: Superficies encargadas del rectificado de las áreas extremas del orificio.
- La muela está dividida en dos partes, que funcionan como unidades independientes separadas por un casquillo y montadas sobre un tornillo.

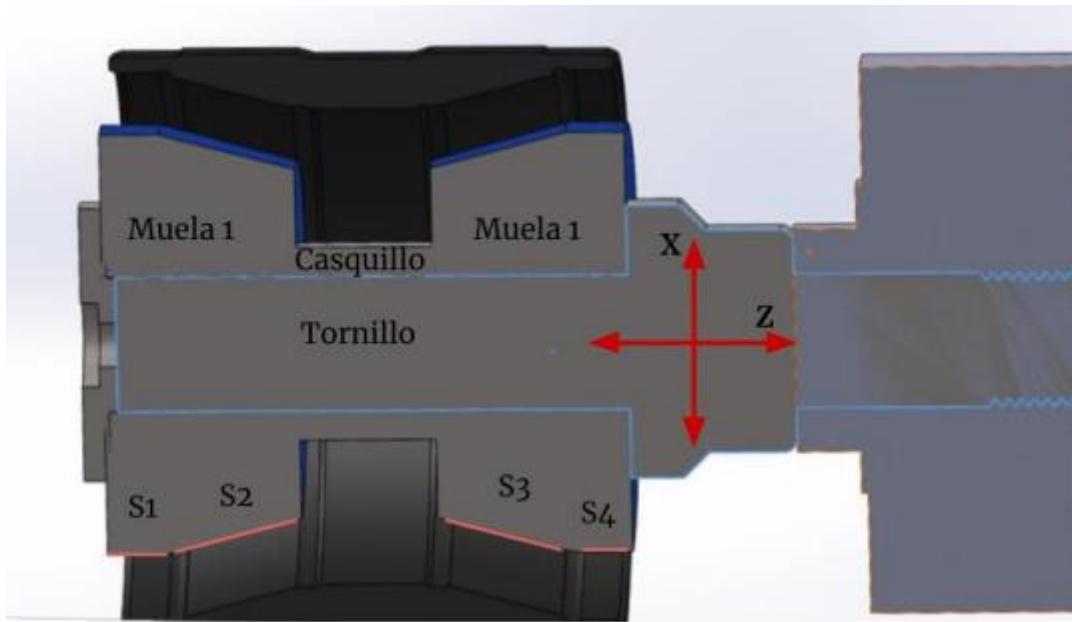


ILUSTRACIÓN 2 MUELA DE LA RECTIFICADORA LIDKÖPING 35.

Archivo fuente: [Resumen proceso producción Z3](#)

Alineación y Ajuste de la Distancia entre Pistas

La distancia entre las pistas del aro depende de dos factores:

- La alineación de la muela con el aro a lo largo del eje Z.
- El desplazamiento de la muela en el eje X.

El ajuste de esta distancia se realiza teniendo en cuenta las piezas que se encuentran en el pulmón de almacenamiento al final de la línea, para garantizar la compatibilidad durante el emparejamiento y ensamblaje final. Estas operaciones aseguran que las piezas rectificadas cumplan con los altos estándares de precisión necesarios para el montaje del rodamiento. La holgura axial de los conjuntos depende directamente de las dimensiones de los conos y los aros. En la rectificadora LIDKÖPING, se tiene control directo sobre una de las variables más críticas en este aspecto: la distancia entre pistas.

El rectificado debe ajustarse para obtener una distancia entre pistas que permita, al emparejar los aros con los conos disponibles al final de la línea, una holgura axial dentro de las tolerancias establecidas. Por lo tanto, esta dimensión se convierte en el parámetro más importante y conscientemente controlado durante el proceso. Por ejemplo, si al final de la línea se acumulan conos con una Ti_inversa elevada, la rectificadora LIDKÖPING recibe la instrucción de mecanizar distancias entre pistas mayores para asegurar que estos conos puedan emparejarse correctamente con los aros disponibles.

Automatización del Modelo Digital

El modelo digital debe determinar automáticamente la posición relativa entre la muela y el aro (ejes X y Z) para garantizar que las distancias entre pistas sean compatibles con los conos que se están rectificando de forma paralela o que ya están disponibles al final de la línea.

Condiciones Previas al Rectificado

Para asegurar un correcto rectificado de la distancia entre pistas, es esencial que:

- Las pistas del aro estén perfectamente centradas: Esto debe haberse logrado previamente en la estación LAMUCE 33. Si las pistas están descentradas, el efecto será equivalente a una mala alineación del eje Z.
- El eje Z esté correctamente alineado: Ambas condiciones son imprescindibles para obtener un rectificado preciso y mantener las tolerancias establecidas.

4.2.3.7 SUPERACABADO EN BLUE HORSE OR (Z3M07)

Esta estación realiza el superacabado de las pistas del aro, minimizando la rugosidad de las superficies tras el rectificado. Aunque el proceso es similar al realizado en los conos, las pistas de los aros presentan un perfil abombado (en lugar de logarítmico). El superacabado permite partir de rugosidades iniciales de varios micrómetros y reducirlas hasta alcanzar valores en el rango de décimas de micrómetro. Este acabado final es crucial para garantizar el correcto funcionamiento y la durabilidad del rodamiento ensamblado.

CONOS

4.2.4.1 PREPROCESADO DE CONOS EN ZC

En la Zona Central (ZC), los conos se someten a un primer rectificado mediante las máquinas DISKUS, tal como se ilustra en la siguiente figura. Este proceso tiene como objetivo preparar los conos para las operaciones posteriores en la línea Z3. El rectificado realizado por las máquinas DISKUS abarca ambas caras del cono (superior e inferior) de forma simultánea, lo que introduce ciertas complicaciones técnicas.

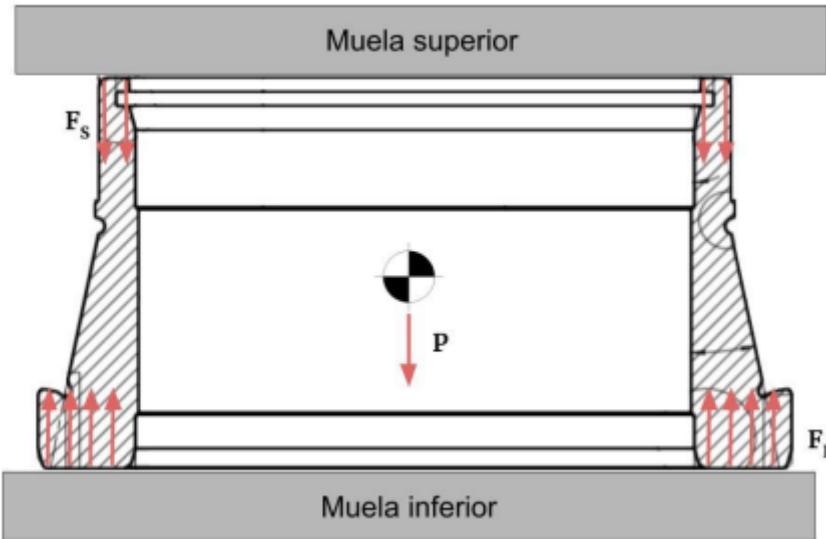


ILUSTRACIÓN 3 RECTIFICADO DE LAS CARAS DEL CONO EN DISKUS. FI: FUERZA EJERCIDA EN LA CARA INFERIOR; FS: FUERZA EJERCIDA EN LA CARA SUPERIOR; P: PESO DEL CONO.

Archivo fuente: [Resumen proceso producción Z3](#)

Distribución de Fuerzas durante el Rectificado:

- Debido al peso del cono, las fuerzas generadas en el proceso no son iguales en ambas caras. La fuerza ejercida por la muela inferior (FI) supera a la fuerza de la muela superior (FS), tal como se muestra en la ilustración.
- Además, la presión ejercida por unidad de superficie es mayor en la cara inferior, lo que puede generar ligeras diferencias en el acabado de ambas superficies.
- Este proceso inicial es clave para garantizar una preparación uniforme de los conos antes de los rectificados posteriores en la línea Z3, donde se afinarán las dimensiones y se ajustarán las especificaciones necesarias.

Repetibilidad en DISKUS y Necesidad de Homogeneización

El proceso de rectificado en DISKUS presenta limitaciones en términos de repetibilidad, lo que genera irregularidades y diferencias dimensionales entre los conos A y B. Estas discrepancias hacen necesario un proceso de homogeneización en la línea Z3 para garantizar una calidad uniforme en los conos procesados.

Además, las diferencias entre los conos A y B requieren parámetros de rectificado específicos, así como la identificación precisa del tipo de cono. Para optimizar la eficiencia del proceso, en DISKUS se trabaja de manera secuencial, procesando primero todos los conos de un tipo antes de proceder con los del otro, evitando el orden aleatorio que sí ocurre en Z3.

4.2.4.2 MÁQUINA DE MARCAJE DE LOS CONOS, Z3M10

La estación Z3M10 es la encargada de recibir los conos provenientes de DISKUS (ZC). A diferencia de DISKUS, los conos ingresan a esta máquina de forma aleatoria y no agrupados por tipo. En esta estación, cada cono es marcado con un datamatrix único de 20 dígitos, grabado con tecnología láser. Este código permite:

- La identificación del cono.
- Su trazabilidad a lo largo de toda la línea de producción.

Durante el proceso de marcaje, también se identifica el tipo de cono (A o B) y se registra en la variable “CATALOGO_NR”. Esta información queda asociada al datamatrix y permite el seguimiento del tipo de cono desde esta etapa en adelante.

4.2.4.3 MÁQUINA DE RECTIFICADO NOVA 30, Z3M11

La máquina NOVA 30 es una de las estaciones clave dentro de la línea Z3, ya que en ella se ajustan dimensiones fundamentales que tienen un impacto directo en la holgura axial (HA) del conjunto final.

Superficies Rectificadas:

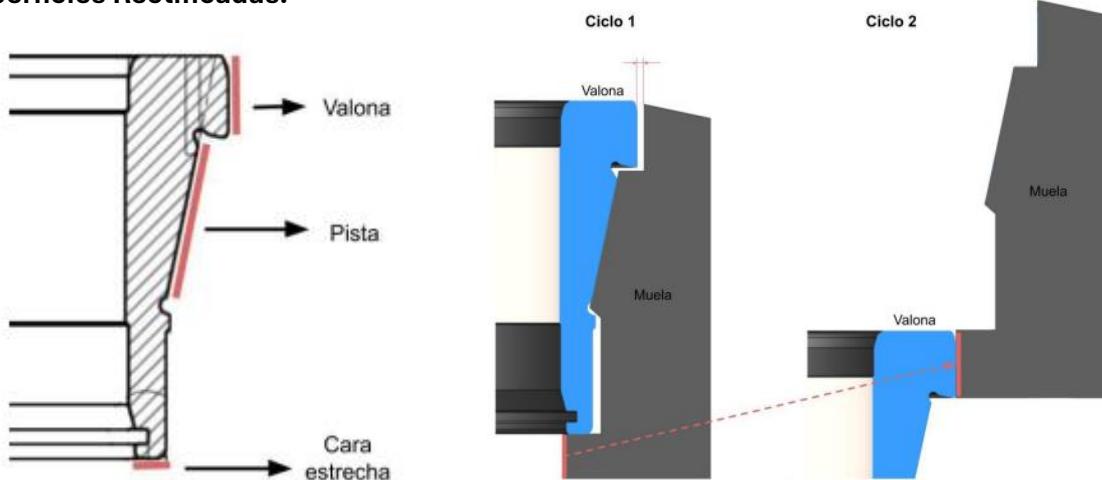


ILUSTRACIÓN 4 SUPERFICIES A RECTIFICAR EN NOVA 30 Y RECTIFICADO SIMULTÁNEO DE LAS 3 SUPERFICIES DEL CONO A.

Archivo fuente: Resumen proceso producción Z3

NOVA 30 trabaja sobre tres áreas principales del cono:

- La valona.
- La pista (d_1).
- La cara estrecha del cono.

El correcto rectificado de estas superficies es crucial para cumplir con las especificaciones dimensionales y funcionales del cono, asegurando así el ajuste necesario para su posterior ensamblaje con los aros.

Influencia del Rectificado en la Holgura Axial

El proceso de rectificado en NOVA 30 tiene un impacto directo en dimensiones clave que afectan al correcto funcionamiento del rodamiento:

- Altura Total (B): Ajustada durante el rectificado de la cara estrecha del cono.
- Altura Ti_inversa: Influida tanto por el rectificado de la cara estrecha como de la pista.

Ambas dimensiones son fundamentales para garantizar que la holgura axial del conjunto esté dentro de las tolerancias especificadas. Debido a su importancia, es imprescindible realizar un control exhaustivo del rectificado en esta estación.

Diferencias Dimensionales entre Conos A y B

Un desafío crítico en esta máquina es la diferencia en las dimensiones de la valona entre los conos A y B. La valona del cono A tiene un diámetro mayor que la del cono B, lo que impide que ambos tipos de conos puedan ser rectificados de la misma manera. Esta diferencia dimensional exige parámetros de rectificado específicos para cada tipo de cono, añadiendo un nivel de complejidad al proceso. El diseño de la operación debe contemplar estas particularidades para garantizar que las dimensiones críticas, como la Ti_inversa y la altura total, se ajusten adecuadamente en ambos tipos de conos.

El proceso de rectificado en la NOVA 30 requiere de un diseño meticuloso y una operación rigurosa, dado que las diferencias entre los conos A y B afectan tanto al procedimiento como a la productividad de la línea.

Consideraciones para el Rectificado de Conos B

Dimensiones de la Superficie Inferior de la Muela. La superficie inferior de la muela debe ser 6 mm mayor que las empleadas en la máquina NOVA 9 (Z0) para permitir el correcto rectificado de la valona de los conos B. Esto asegura que la valona de los conos B sea mecanizada adecuadamente durante el segundo ciclo.

Importancia de la Identificación del Tipo de Cono

Error al procesar un cono B como A:

- La valona no se rectificaría, ya que no se ejecutaría el segundo ciclo, comprometiendo la calidad del cono.

- Error al procesar un cono A como B:
- La muela colisionaría con la valona durante el segundo ciclo, causando daños graves a la máquina.
- Tiempo de Ciclo
- El tiempo de rectificado de un cono B es 8 segundos mayor que el de un cono A, debido a la necesidad de realizar dos ciclos.
- Esto hace que el rectificado de conos B sea el cuello de botella teórico de la línea.

Sistemas de Identificación y Control

Antes de que el cono entre en la máquina, se verifica su tipología mediante sistemas de identificación automática. En caso de fallo del sistema de control, la máquina se detiene automáticamente para evitar daños.

Operaciones Manuales

Cuando se introduce un cono manualmente, la máquina realiza una comprobación adicional para determinar el tipo antes de iniciar el rectificado.

Influencia del posicionamiento de la muela, dimensiones clave influenciadas

La posición de la muela durante el rectificado afecta:

- La altura total del cono (B).
- La distancia entre la cara ancha del aro exterior y la cara estrecha del cono (Ti_{inv}).
- Impacto en la Holgura Axial (HA)

Tanto B como Ti_{inv} son dimensiones críticas que influyen directamente en la holgura axial (HA), esencial para la calidad del rodamiento y el ensamblaje eficiente de conjuntos.

Ajustes Dinámicos para Optimización

Mediante pequeños ajustes en la posición de la muela, se pueden obtener valores precisos de B y Ti_{inv} , lo que permite controlar la HA. Esto facilita el ensamblaje de todas las piezas disponibles en el pulmón al final de la línea, asegurando un proceso productivo y eficiente. En la máquina NOVA 30, el proceso de rectificado está altamente influenciado por la precisión en los ajustes de posición relativos entre el cono y la muela, definidos por los ejes X y Z:

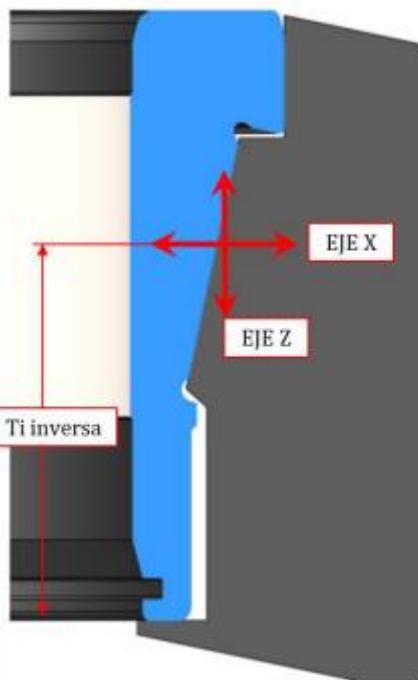


ILUSTRACIÓN 5 EJES DE NOVA 30. LOS CONOS SE MUEVEN EN EL EJE X Y LA MUELA EN EL EJE Z.
NÓTESE QUE LA DIMENSIÓN MARCADA NO ES LA TI_INV SINO AQUELLA QUE TIENE REPERCUSIÓN SOBRE LA TI_INV.

Archivo fuente: [Resumen proceso producción Z3](#)

Movimiento y Ajustes Críticos

Movimientos Relativos:

- Conos: Se desplazan a lo largo del eje X.
- Muela: Se ajusta en el eje Z.

Estos movimientos coordinados son esenciales para garantizar un rectificado correcto.

Interdependencia Dimensional:

- En NOVA 30, cualquier modificación en las dimensiones sobre los ejes X o Z repercuten directamente en otras dimensiones clave, como B y Ti_inv. Esto hace que los ajustes en estos ejes sean críticos y deban realizarse con extrema precisión.

Objetivo de los Modelos Digitales

Los modelos digitales deben automatizar el ajuste de la posición relativa entre el cono y la muela para garantizar:

- Dimensiones B y Ti_inv acordes a las piezas disponibles en el pulmón de ensamblaje al final de la línea.
- Adaptación en tiempo real a las necesidades del proceso, optimizando la calidad y eficiencia.

Influencia en Ti_inv

No todas las dimensiones influyen de igual forma sobre Ti_inv. Es fundamental identificar cuáles tienen un mayor impacto para priorizar los ajustes:

- B y la posición de la muela en Z tienen una influencia directa y significativa.
- Ajustes en X afectan más al contacto entre la muela y el cono, determinando la calidad superficial y posibles desviaciones.

Este enfoque dinámico y automatizado asegura que las piezas procesadas en la máquina NOVA 30 cumplan con las tolerancias requeridas, contribuyendo a una holgura axial controlada y un ensamblaje eficiente.

4.2.4.4 MÁQUINA DE RECTIFICADO NOVA 31, Z3M12

La máquina NOVA 31 es responsable del rectificado del agujero interior de los conos, una dimensión crítica para el montaje de los rodamientos.

Aspectos destacados:

Diámetro interior homogéneo:

- Ambos tipos de conos (A y B) tienen el mismo diámetro interior (d), por lo que no es necesaria la identificación del tipo de cono en esta estación.
- Control de calidad automatizado:
- Una estación de control dimensional (Z3M13) sigue inmediatamente al rectificado para verificar la calidad y detectar cualquier deriva o sesgo.

Ajustes correctores automáticos:

- Si se detectan desviaciones, se envían órdenes a NOVA 31 para realizar correcciones.
- Variables no registradas:
- Esta máquina no genera datos de variables de funcionamiento.

4.2.4.5 MÁQUINA DE CONTROL DIMENSIONAL DEL AGUJERO DEL CONO, Z3M13

Esta estación verifica las dimensiones del agujero interior de los conos y asegura que cumplen con los valores de referencia establecidos.

Funcionamiento:

- Identificación automática del tipo de cono:

- El palpador mide el principio y el final de la zona rectificada del agujero interior y, a partir de estas características, identifica si se trata de un cono A o B.

Comparación con valores de referencia:

- Los valores medidos se comparan con las especificaciones predefinidas para determinar si el cono cumple las tolerancias.

Correcciones activas:

- Si se detectan desviaciones, se envían órdenes correctoras a la estación de rectificado (NOVA 31).

4.2.4.6 MÁQUINA DE RECTIFICADO RIFA32, Z3M14

La máquina RIFA32 rectifica las testas (zona de apoyo de los rodillos en el cono).

Detalles clave:

Dimensiones iguales:

- Las testas de los conos A y B son idénticas, por lo que no es necesaria la identificación del tipo de cono.

Dimensiones no críticas:

- Este proceso no afecta a dimensiones críticas, y por ello no se registran datos de esta estación.

4.2.4.7 MÁQUINA DE SUPERACABADO BLUE HORSE IR, Z3M15

En esta máquina se realiza el superacabado de las pistas y testas para reducir la rugosidad superficial y mejorar el rendimiento del rodamiento.

Características del proceso:

Reducción de rugosidad:

- La rugosidad inicial (varios micrómetros) se reduce a valores de décimas de micra, tal como se aprecia en el perfil logarítmico tras el proceso.

Menor impacto dimensional:

- Aunque se elimina una pequeña cantidad de material, las dimensiones críticas no se ven significativamente afectadas, por lo que no se registran datos de esta estación.

Tolerancias ajustadas para muelas nuevas:

- Cuando la muela es nueva, su abrasividad es mayor. Para evitar sobrepuertos, se limitan ligeramente las tolerancias especificadas, creando un margen de seguridad.

ENSAMBLAJE Y ALMACENAMIENTO

4.2.5.1 ESTACIONES DE LAVADO R&S (Z3M08, Z3M16, Z3M20)

Estas estaciones eliminan impurezas como grasa, aceite o taladrina adheridas a las superficies de conos, aros y conjuntos interiores:

- Z3M08: lava los aros mediante hidrocarburo.
- Z3M16: lava los conos mediante ultrasonidos.
- Z3M20: lava los conjuntos interiores (cono, rodillos y jaula) antes del ensamblaje con los aros.

4.2.5.2 MESAS ACUMULADORAS DE CONOS R&S

Las dos mesas acumuladoras trabajan en paralelo y están diseñadas para:

- Separar conos A y B: Permiten clasificar los conos y alimentarlos de forma alternada a las estaciones finales.
- Evitar acumulaciones desproporcionadas: Garantizan un flujo equilibrado de conos A y B, necesario para un ensamblaje eficiente.
- Identificación de conos: Al igual que en NOVA 30, estas mesas identifican el tipo de cono antes de clasificarlos.

4.2.5.3 ESTACIÓN R&S DE CONTROL DIMENSIONAL DEL CONO (Z3M17)

Es la última estación antes del ensamblaje en la que se realiza un control dimensional general para descartar piezas defectuosas.

Dimensiones verificadas:

- Testa: Medida mediante visión por computador.
- Altura del cono (B).
- Diámetro interior (d).
- Conicidad.
- Diámetro de pista (d1).

Datos generados:

- Gráficos de control $\bar{X} - R$, aunque actualmente los reportes no son muy fiables.
- Diámetro interior medido en dos posiciones específicas.

4.2.5.4 ESTACIONES IBG DE CONTROL DE GRIETAS (Z3M09 y Z3M18)

Utilizan corrientes inducidas para detectar grietas o fisuras en conos y aros:

- Proceso de inspección: Variaciones en las corrientes inducidas indican irregularidades estructurales.
- Descarte de piezas: Las piezas con defectos se eliminan automáticamente.
- Datos recogidos: Variables asociadas al datamatrix activado en esta estación.

4.2.5.5 ESTACIÓN LAMUCE DE MONTAJE DEL CONO (Z3M19)

Se monta el conjunto interior formado por:

- Cono, rodillos y jaula.
- Los rodillos se reciben del proveedor clasificados en familias de 2 µm para garantizar uniformidad.
- La jaula también llega ensamblada desde el proveedor.

Control de calidad:

- Peso del conjunto: Si el peso excede los límites de tolerancia, se aparta para revisión, ya que puede indicar la falta de rodillos.
- Identificación de conos: La máquina distingue entre conos A y B y aplica tolerancias de peso correspondientes.

La homogeneidad en las dimensiones de los rodillos asegura una distribución de cargas equilibrada en el rodamiento.

4.2.5.7 ESTACIÓN LAMUCE DE MEDICIÓN DE LA HOLGURA AXIAL, Z3M22

Mientras que la estación 21.1 calcula la holgura axial teórica para cada emparejamiento, esta estación mide la holgura axial real obtenida. Funciona como estación de descarte, de manera que si la holgura axial medida no se encuentra dentro de los límites tolerados (170-220 µm), el conjunto es retirado de la línea. Es la última estación donde el conjunto puede desmontarse fácilmente antes de agregar los elementos de unión (IRU), retenes y lubricantes. Por esta razón, es clave para la trazabilidad unitaria que se describe en el apartado 6.

4.2.5.8 ESTACIÓN PARA MONTAJE DEL IRU, Z3M23

En esta estación se coloca un anillo metálico, conocido como IRU, dentro del aro, entre los dos conos. El IRU sirve como elemento de unión entre los conos.

4.2.5.9 ESTACIÓN ROFIN PARA EL MARCAJE LÁSER, Z3M24

En esta estación, se graba sobre el aro exterior un código único de 34 dígitos, tal como lo requiere el cliente.

4.2.5.10 ESTACIÓN R&S DE ENGRASADO Y MONTAJE DE RETENES, Z3M25

En esta estación se aplica la grasa necesaria para el correcto funcionamiento del rodamiento y se montan los retenes. Es la única estación en la que el producto se modifica y se verifica la operación. Esto puede ser problemático, ya que, si una pieza es incorrecta, no se puede volver a realizar la comprobación sin una nueva inyección de grasa y montaje de retenes. El proceso sigue estos pasos:

- Se pesa el conjunto y se tara la balanza.
- Se inyecta grasa en uno de los conos.
- Se pesa el conjunto después de la primera inyección para verificar si la cantidad de grasa es correcta.
- Se inyecta grasa en el segundo cono.
- Se pesa el conjunto después de la segunda inyección para verificar si la cantidad de grasa es correcta.
- Se monta el primer retén.
- Se comprueba la correcta instalación del primer retén.
- Se monta el segundo retén.
- Se comprueba la correcta instalación del segundo retén.
- Se verifica el par de giro (torque) del rodamiento una vez engrasado y con los retenes.

4.2.5.11 ESTACIÓN R&S DE ACEITADO, Z3M26

En esta estación se aplica un aceite protector para evitar el deterioro del rodamiento. No se registran datos en esta etapa.

4.2.5.12 ESTACIÓN DE EMBALAJE, Z3M27

En esta estación se escanea el código impreso del conjunto para el cliente utilizando una pistola manual, y se verifica que no sea un código repetido. Una vez confirmado que el código es único, el conjunto puede ser enviado. Este proceso es costoso y se requiere mejorar.

ANEXO 2 DATOS SINTÉTICOS

Este anexo recoge el resto de las pruebas realizadas con los datos sintéticos

ENTRENAMIENTO CON VARIABLES ESPURIAS

| | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 1 Tree | RMSE (Validation): 0.00018413 |
| Last change: Fine Tree | 11/11 features |
| 2.1 Linear Regression | RMSE (Validation): 5.1934e-09 |
| Last change: Linear | 11/11 features |
| 2.2 Linear Regression | RMSE (Validation): 2.2645e-13 |
| Last change: Interactions Linear | 11/11 features |
| 2.3 Linear Regression | RMSE (Validation): 5.2165e-09 |
| Last change: Robust Linear | 11/11 features |
| 2.4 Stepwise Linear Regression | RMSE (Validation): 5.2809e-09 |
| Last change: Stepwise Linear | 11/11 features |
| 2.5 Tree | RMSE (Validation): 0.00018413 |
| Last change: Fine Tree | 11/11 features |
| 2.6 Tree | RMSE (Validation): 0.00022175 |

Model 2.2: Linear Regression
Status: Trained

Training Results

| | |
|------------------------|---------------|
| RMSE (Validation) | 2.2645e-13 |
| R-Squared (Validation) | 1.00 |
| MSE (Validation) | 5.1279e-26 |
| MAE (Validation) | 1.6778e-13 |
| MAPE (Validation) | 0.0% |
| Prediction speed | ~6000 obs/sec |
| Training time | 13.588 sec |
| Model size (Compact) | ~97 kB |

► Model Hyperparameters
 ► Feature Selection: 11/11 individual features selected
 ► PCA: Disabled
 ► Optimizer: Not applicable

TABLA 1 MODELOS DE ENTRENAMIENTO Y TEST DE DATOS SINTÉTICOS

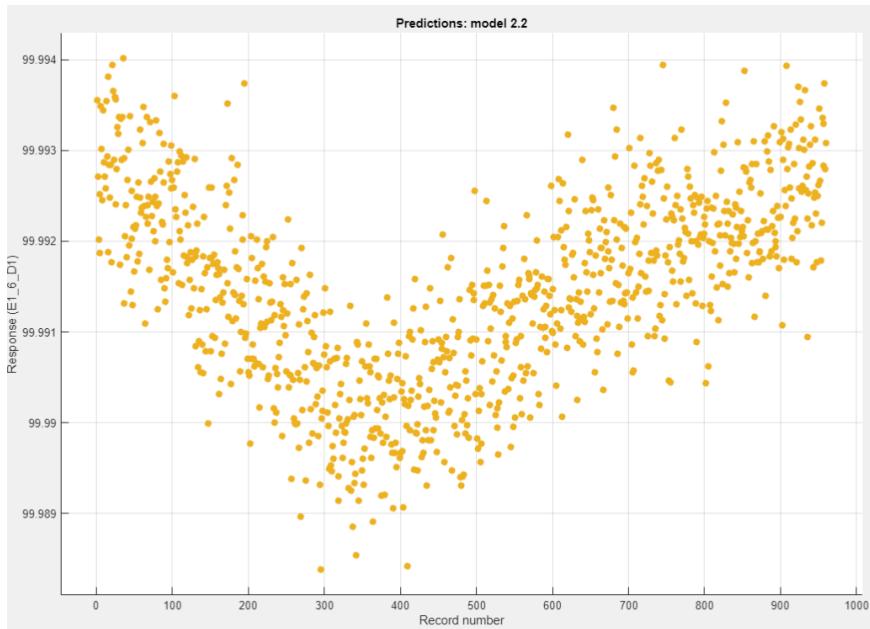
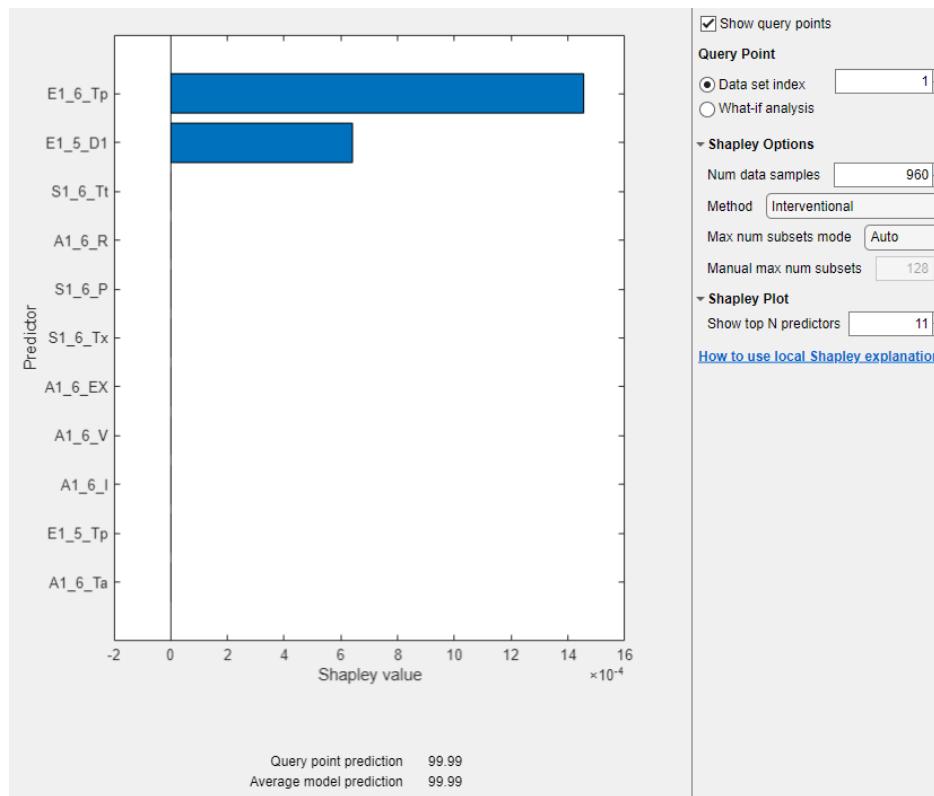
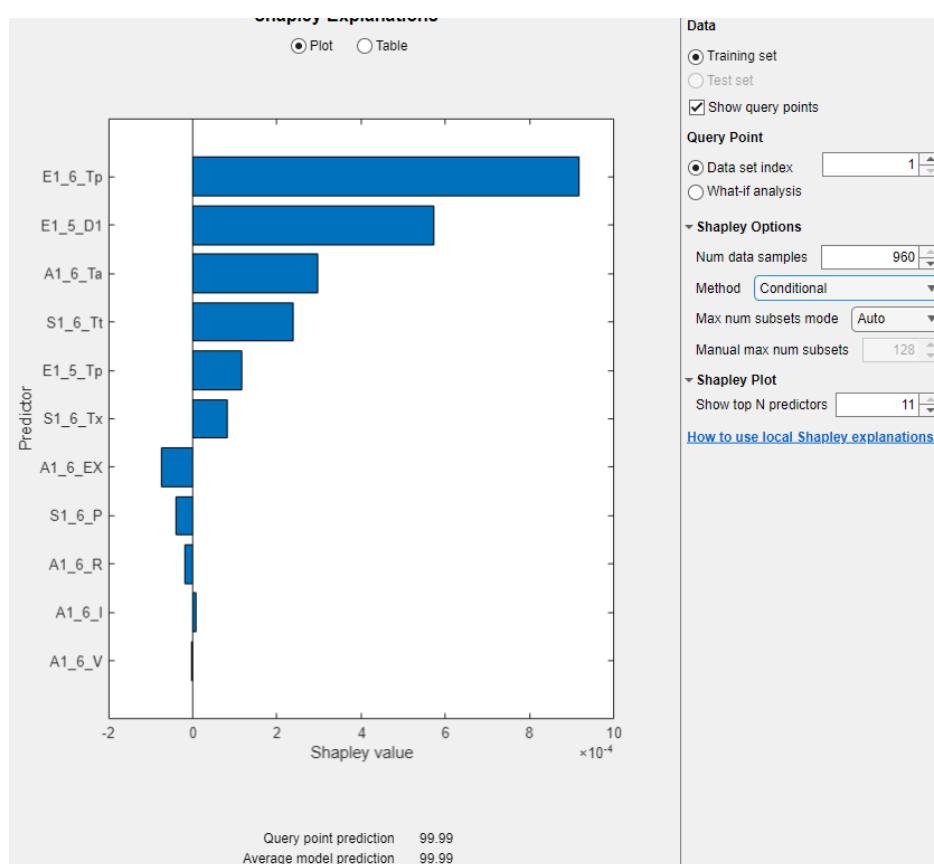


ILUSTRACIÓN 6 GRÁFICA COMPARATIVA DE LA RESPUESTA REAL OBTENIDA FRENTE A LAS PREDICCIONES

**ILUSTRACIÓN 7 GRÁFICA SHAPLEY INTERVENCIONAL****ILUSTRACIÓN 8 GRÁFICA SHAPLEY CONDICIONAL**

FACTOR RUIDO = 3.8 (SOLO CON RUIDO)

Model 2.1: Linear Regression
Status: Trained

Training Results

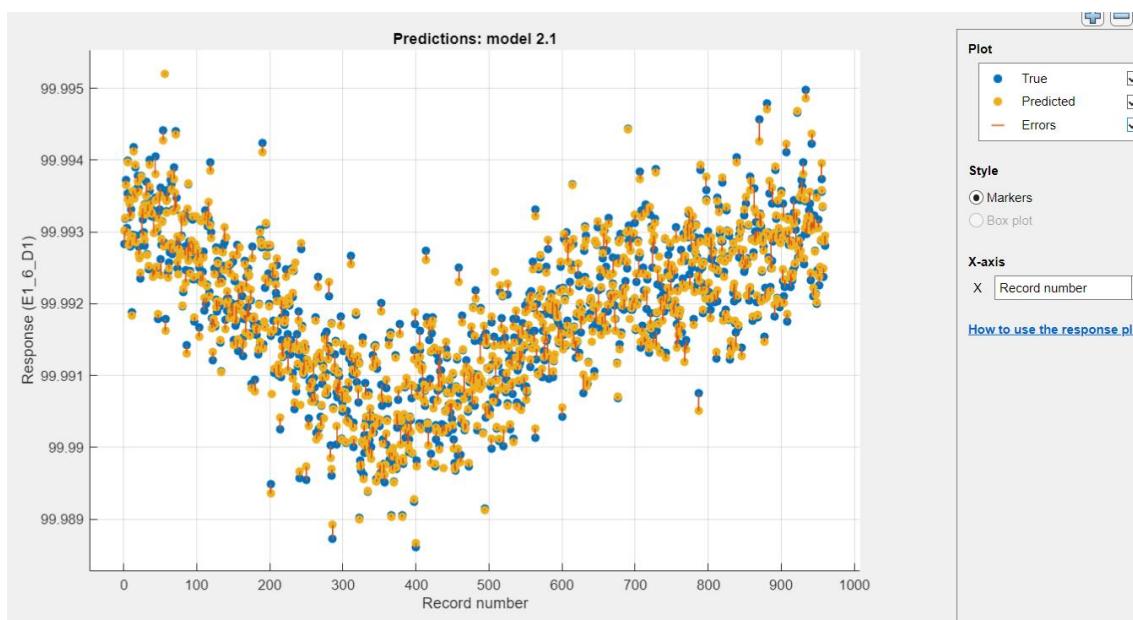
| | |
|------------------------|----------------|
| RMSE (Validation) | 0.00010855 |
| R-Squared (Validation) | 0.99 |
| MSE (Validation) | 1.1784e-08 |
| MAE (Validation) | 8.6182e-05 |
| MAPE (Validation) | 0.0% |
| Prediction speed | ~75000 obs/sec |
| Training time | 1.9667 sec |
| Model size (Compact) | ~4 kB |

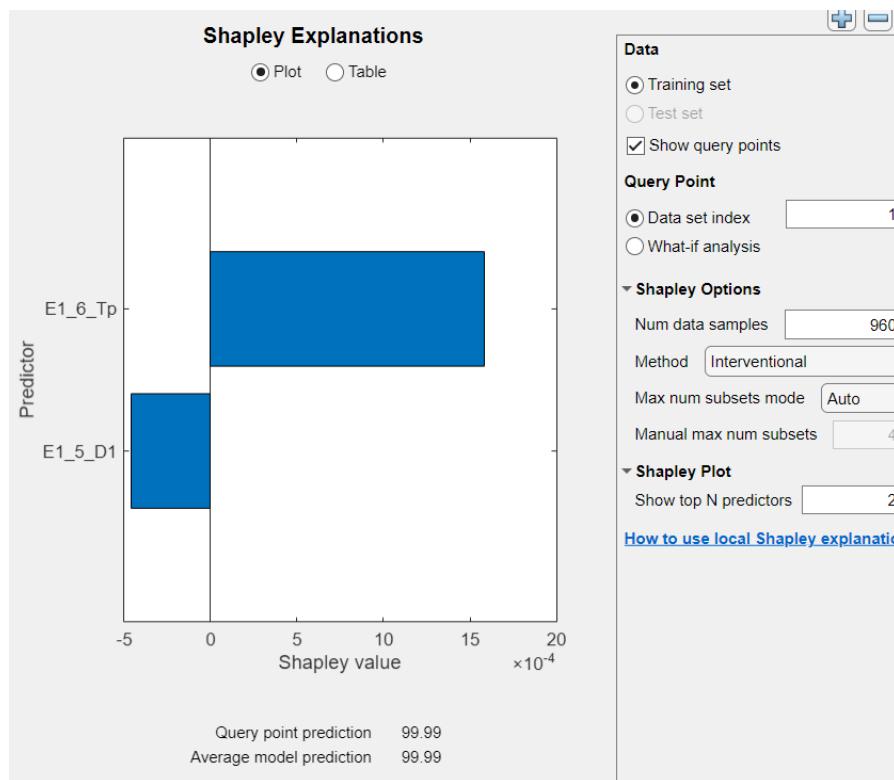
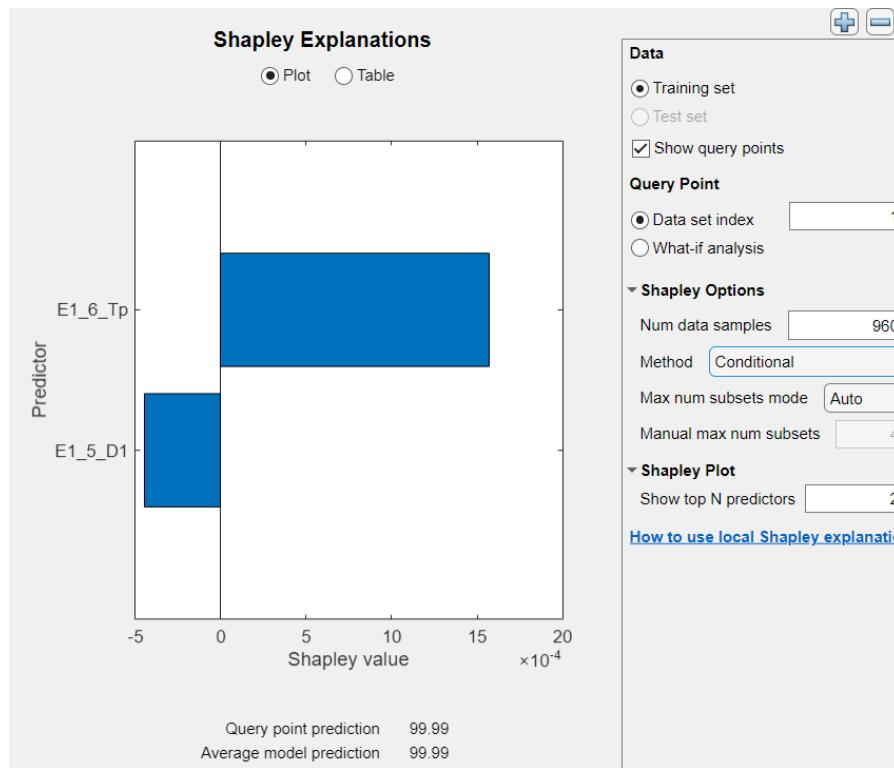
Model Hyperparameters

- Feature Selection: 2/2 individual features selected
- PCA: Disabled
- Optimizer: Not applicable

Model 2.1

| Model | Description | RMSE (Validation) | Features |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|--------------|
| 1 Tree | Fine Tree | 0.00020484 | 2/2 features |
| 2.1 Linear Regression | Linear | 0.00010855 | 2/2 features |
| 2.2 Linear Regression | Interactions Linear | 0.00010864 | 2/2 features |
| 2.3 Linear Regression | Robust Linear | 0.00010856 | 2/2 features |
| 2.4 Stepwise Linear Regr... | Stepwise Linear | 0.00010855 | 2/2 features |
| 2.5 Tree | Fine Tree | 0.00020484 | 2/2 features |

TABLA 2 MODELOS DE ENTRENAMIENTO Y TEST DE DATOS SINTÉTICOS**ILUSTRACIÓN 9 GRÁFICA COMPARATIVA DE LA RESPUESTA REAL OBTENIDA FRENTE A LAS PREDICCIONES**

**ILUSTRACIÓN 10 GRÁFICA SHAPLEY INTERVENCIONAL****ILUSTRACIÓN 11 GRÁFICA SHAPLEY CONDICIONAL**

FACTOR RUIDO = 4.7 (SOLO CON RUIDO)

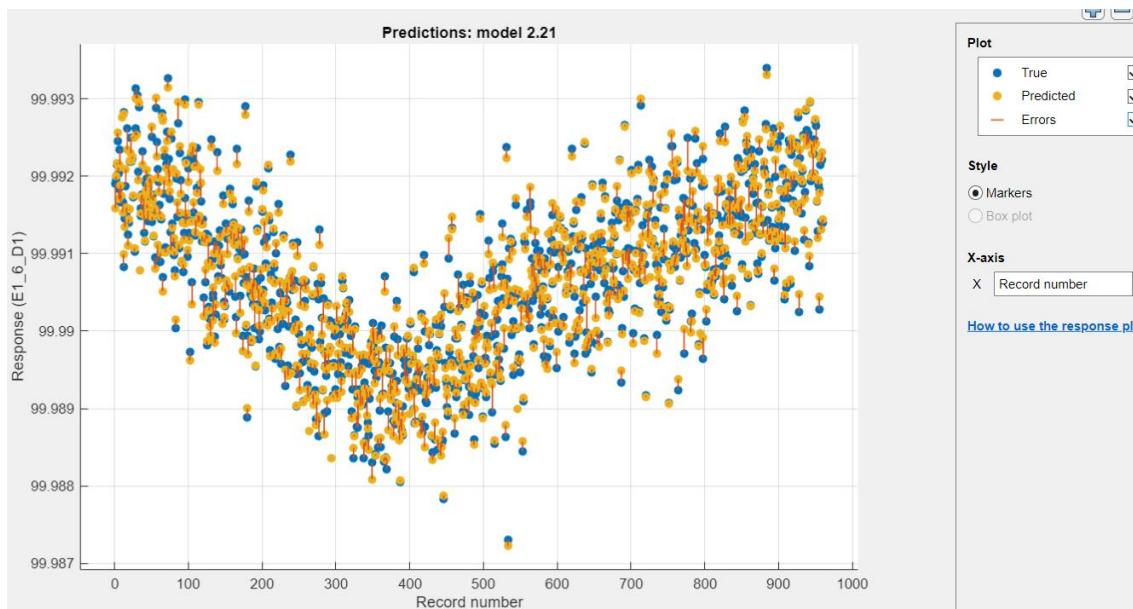
| | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| 2.17 Ensemble | RMSE (Validation): 0.00018455 |
| Last change: Bagged Trees | 2/2 features |
| 2.18 Gaussian Process R... | RMSE (Validation): 0.00013412 |
| Last change: Squared Exponential GPR | 2/2 features |
| 2.19 Gaussian Process R... | RMSE (Validation): 0.00013413 |
| Last change: Matern 5/2 GPR | 2/2 features |
| 2.20 Gaussian Process R... | RMSE (Validation): 0.00015707 |
| Last change: Exponential GPR | 2/2 features |
| 2.21 Gaussian Process R... | RMSE (Validation): 0.00013412 |
| Last change: Rational Quadratic GPR | 2/2 features |
| 2.22 Neural Network | RMSE (Validation): 0.012227 |
| Last change: Narrow Neural Network | 2/2 features |

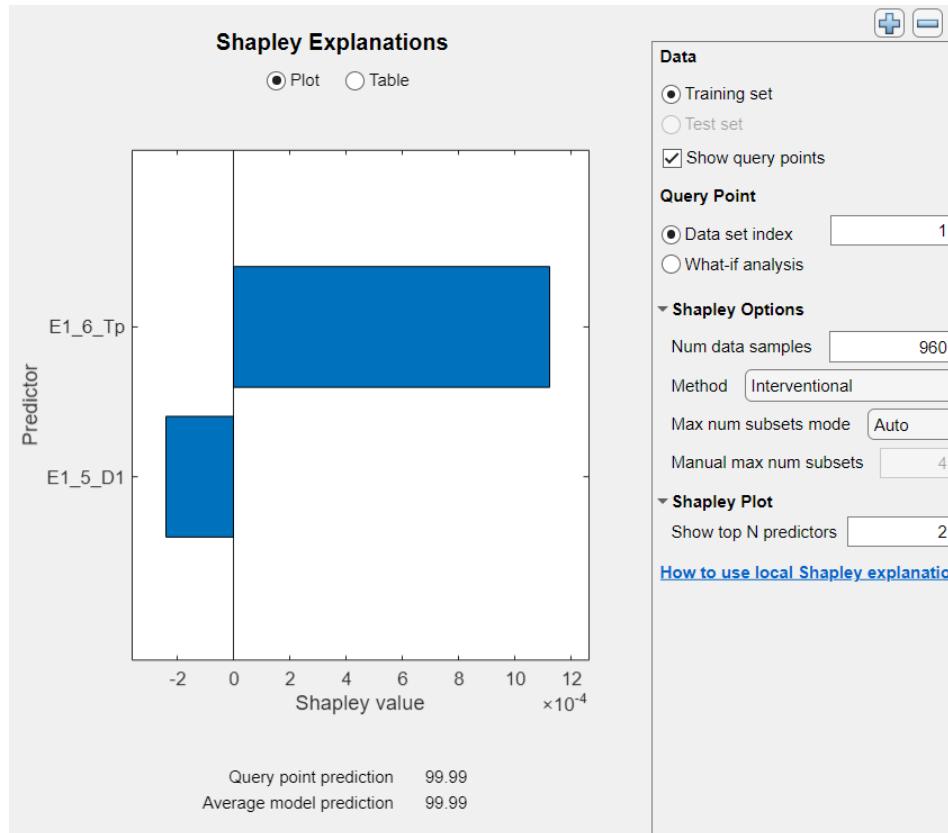
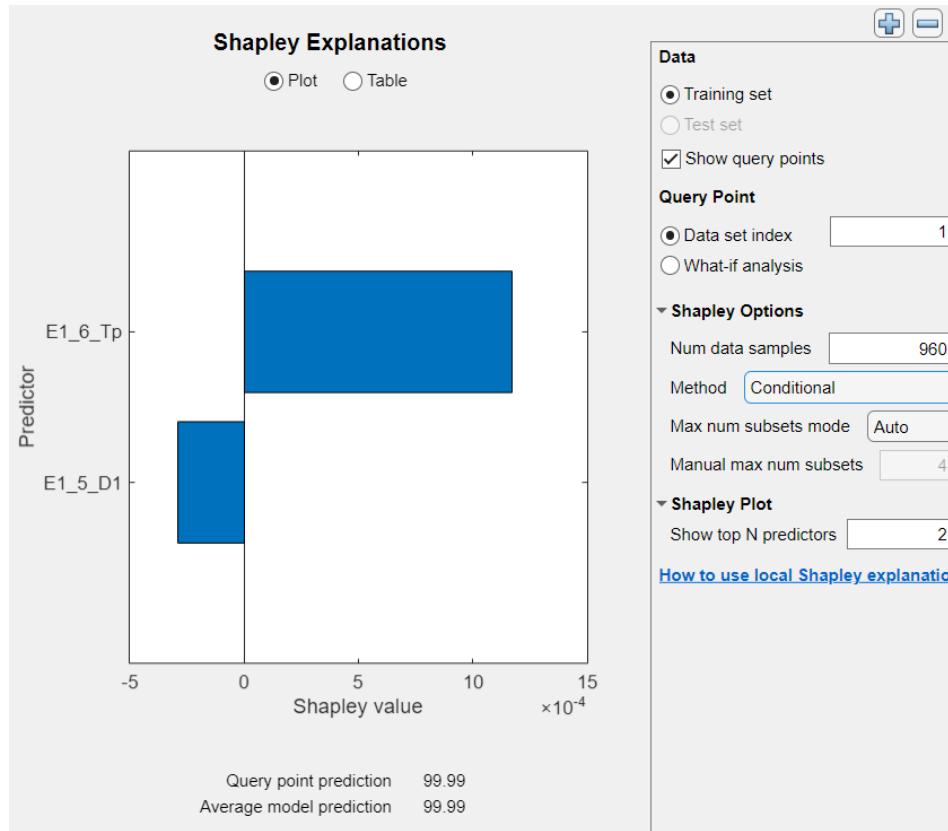
Model 2.21: Gaussian Process Regression
Status: Trained

Training Results

| | |
|------------------------|----------------|
| RMSE (Validation) | 0.00013412 |
| R-Squared (Validation) | 0.98 |
| MSE (Validation) | 1.7987e-08 |
| MAE (Validation) | 0.00010625 |
| MAPE (Validation) | 0.0% |
| Prediction speed | ~13000 obs/sec |
| Training time | 46.417 sec |
| Model size (Compact) | ~32 kB |

► **Model Hyperparameters**
 ► **Feature Selection:** 2/2 individual features selected
 ► **PCA:** Disabled
 ► **Optimizer:** Not applicable

TABLA 3 MODELOS DE ENTRENAMIENTO Y TEST DE DATOS SINTÉTICOS**ILUSTRACIÓN 12 GRÁFICA COMPARATIVA DE LA RESPUESTA REAL OBTENIDA FRENTE A LAS PREDICCIONES**

**ILUSTRACIÓN 13 GRÁFICA SHAPLEY INTERVENCIONAL****ILUSTRACIÓN 14 GRÁFICA SHAPLEY CONDICIONAL**

FACTOR RUIDO = 7.5 (SOLO CON RUIDO)

Model 2.1: Linear Regression
Status: Trained

Training Results

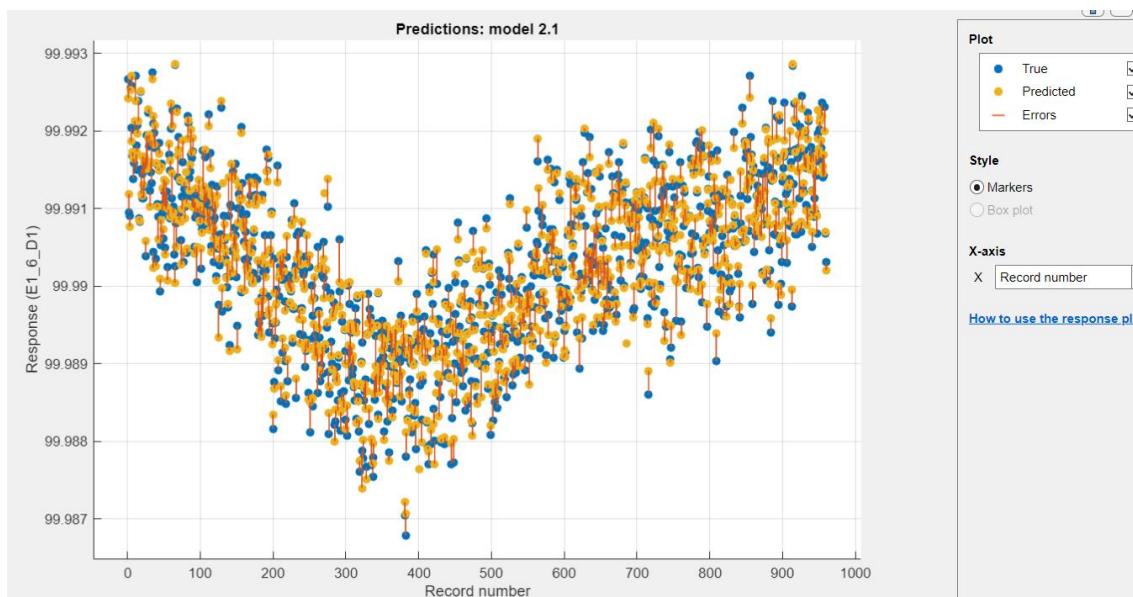
| | |
|------------------------|----------------|
| RMSE (Validation) | 0.00021440 |
| R-Squared (Validation) | 0.96 |
| MSE (Validation) | 4.5969e-08 |
| MAE (Validation) | 0.00017188 |
| MAPE (Validation) | 0.0% |
| Prediction speed | ~28000 obs/sec |
| Training time | 5.4172 sec |
| Model size (Compact) | ~4 kB |

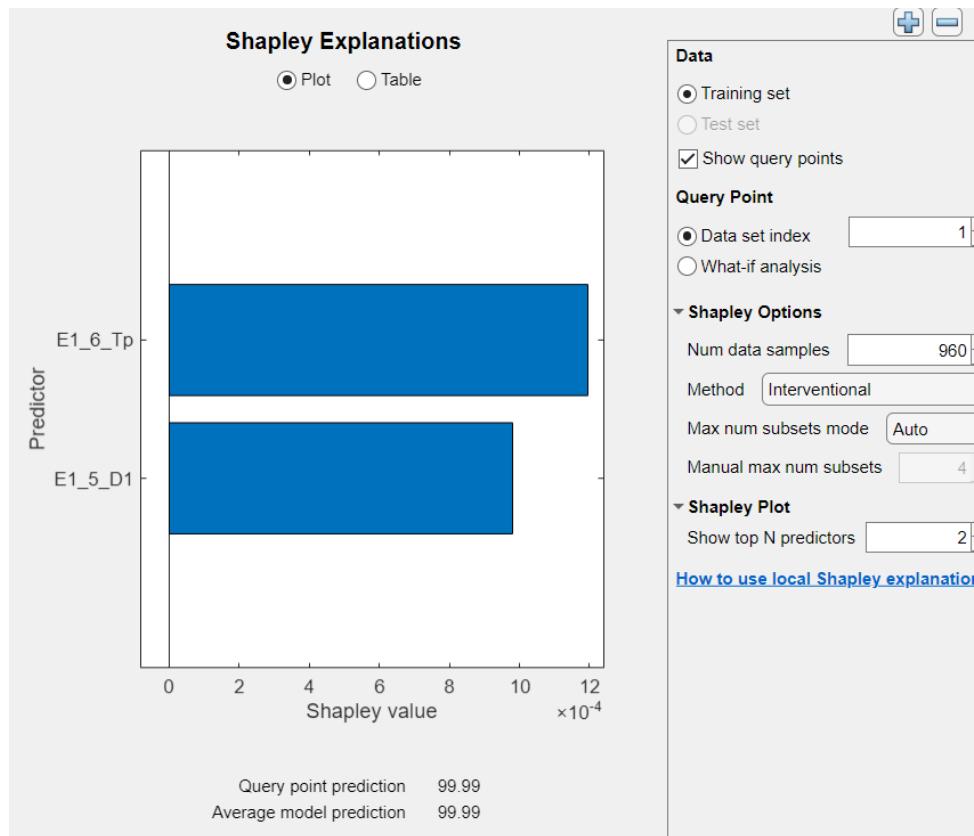
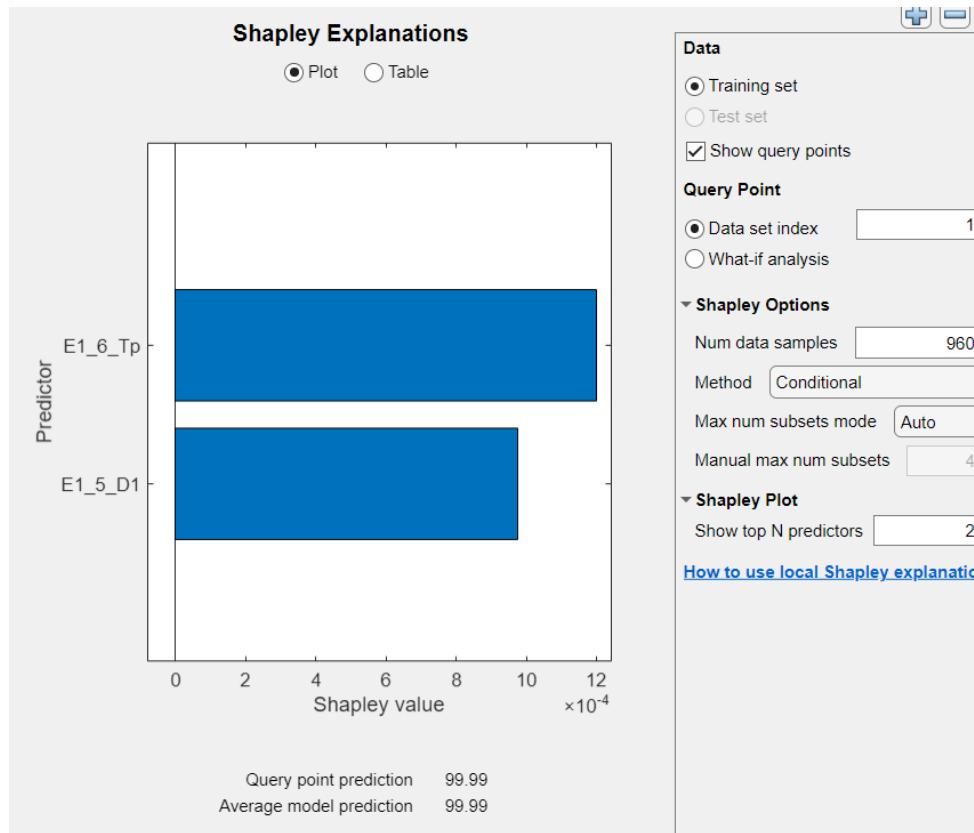
Model Hyperparameters

- Feature Selection: 2/2 individual features selected
- PCA: Disabled
- Optimizer: Not applicable

Model 2.1

| | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Tree | RMSE (Validation): 0.00029591 |
| Last change: Fine Tree | 2/2 features |
| 2.1 Linear Regression | RMSE (Validation): 0.00021440 |
| Last change: Linear | 2/2 features |
| 2.2 Linear Regression | RMSE (Validation): 0.00021453 |
| Last change: Interactions Linear | 2/2 features |
| 2.3 Linear Regression | RMSE (Validation): 0.00021443 |
| Last change: Robust Linear | 2/2 features |
| 2.4 Stepwise Linear Regr... | RMSE (Validation): 0.00021440 |
| Last change: Stepwise Linear | 2/2 features |
| 2.5 Tree | RMSE (Validation): 0.00029591 |
| Last change: Fine Tree | 2/2 features |

TABLA 4 MODELOS DE ENTRENAMIENTO Y TEST DE DATOS SINTÉTICOS**ILUSTRACIÓN 15 GRÁFICA COMPARATIVA DE LA RESPUESTA REAL OBTENIDA FRENTE A LAS PREDICCIONES**

**ILUSTRACIÓN 16 GRÁFICA SHAPLEY INTERVENCIONAL****ILUSTRACIÓN 17 GRÁFICA SHAPLEY CONDICIONAL**

FACTOR RUIDO = 3.8 (CON RUIDO Y VARIABLES ESPURIAS)

The screenshot shows the Orange data mining software interface. On the left, a list of models is displayed:

- 1 Tree**: RMSE (Validation): 0.00021500, Last change: Fine Tree, 11/11 features.
- 2.1 Linear Regression**: RMSE (Validation): 0.00010526, Last change: Linear, 11/11 features.
- 2.2 Linear Regression**: RMSE (Validation): 0.00010776, Last change: Interactions Linear, 11/11 features.
- 2.3 Linear Regression**: RMSE (Validation): 0.00010529, Last change: Robust Linear, 11/11 features.
- 2.4 Stepwise Linear Regr...**: RMSE (Validation): 0.00010627, Last change: Stepwise Linear, 11/11 features.
- 2.5 Tree**: RMSE (Validation): 0.00021500, Last change: Fine Tree, 11/11 features.

On the right, details for **Model 2.1: Linear Regression** are shown:

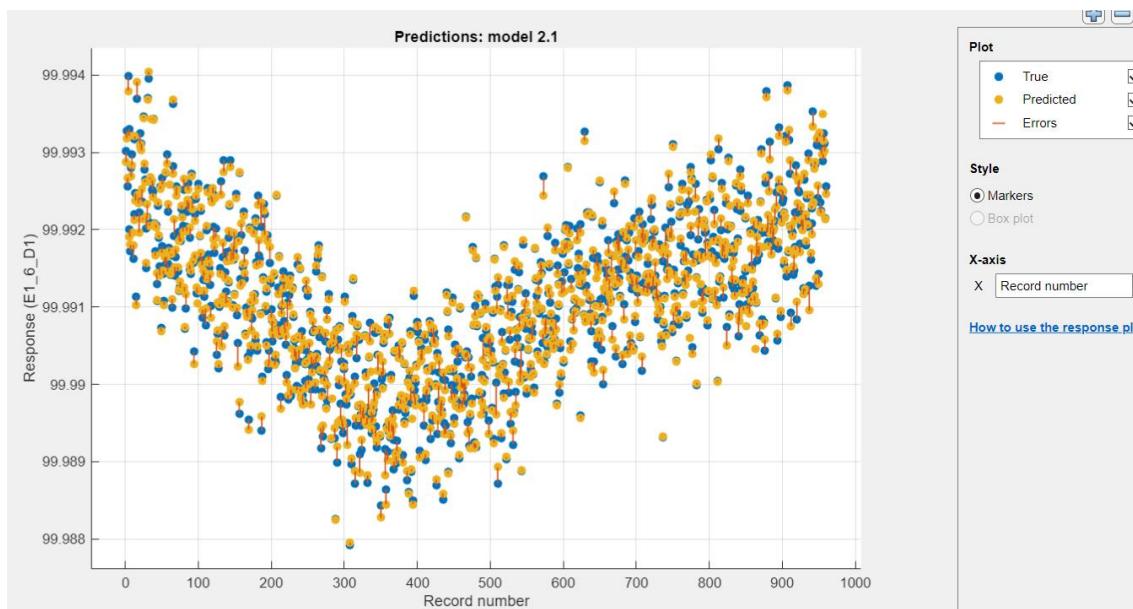
Status: Trained

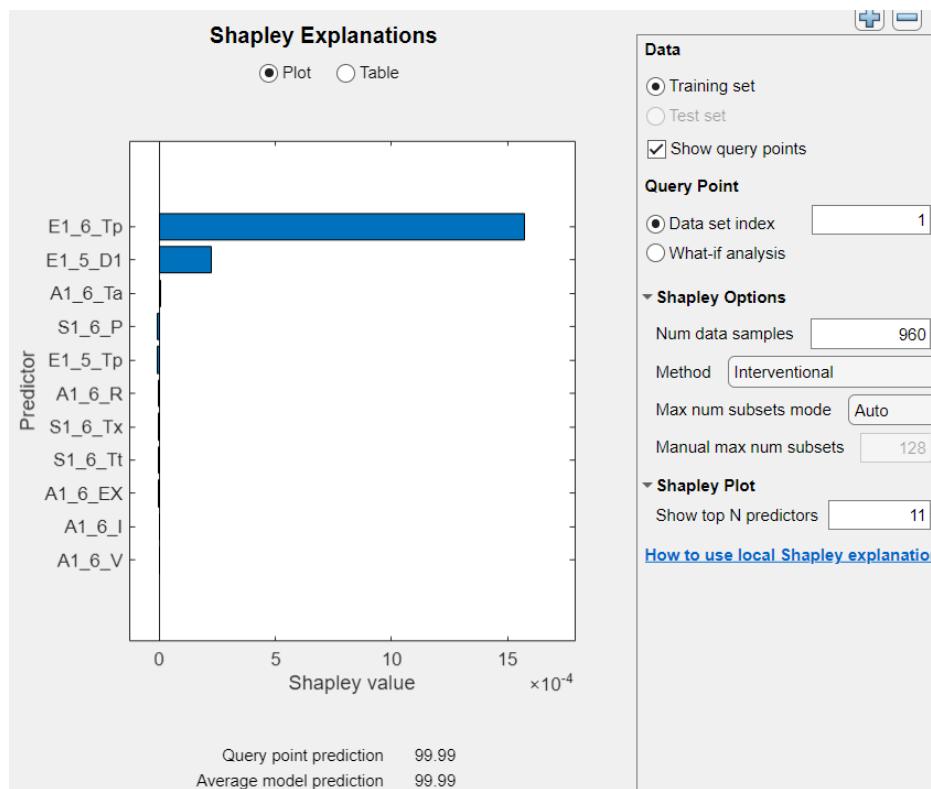
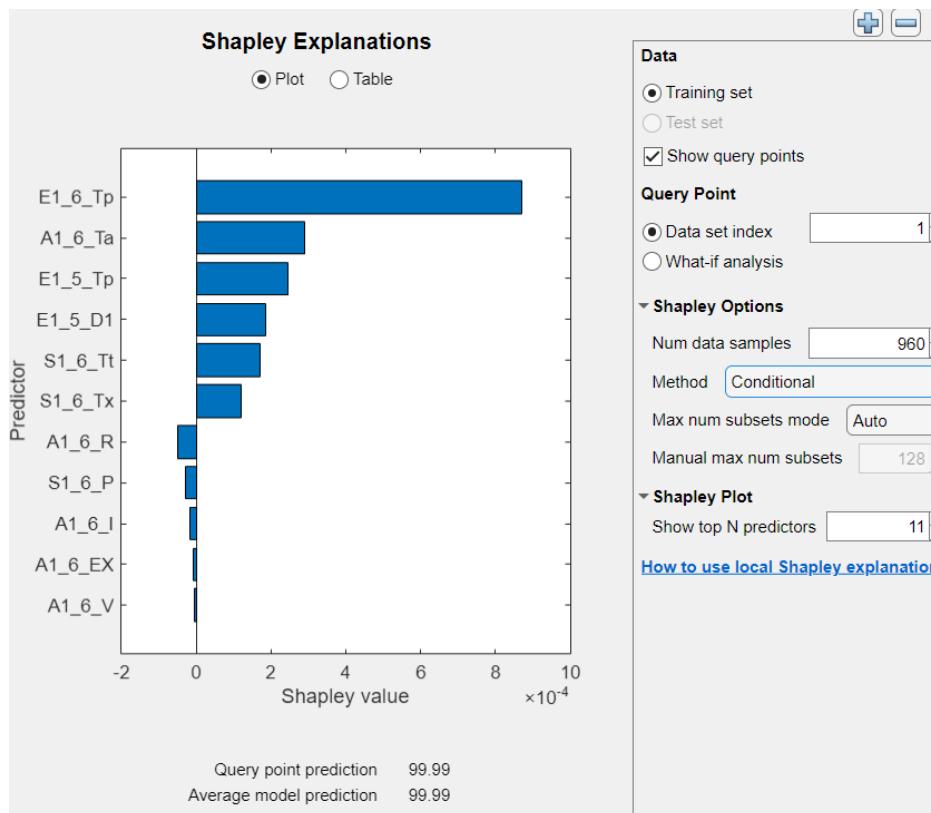
Training Results

| | |
|------------------------|---------------|
| RMSE (Validation) | 0.00010526 |
| R-Squared (Validation) | 0.99 |
| MSE (Validation) | 1.1081e-08 |
| MAE (Validation) | 8.2806e-05 |
| MAPE (Validation) | 0.0% |
| Prediction speed | ~4200 obs/sec |
| Training time | 11.167 sec |
| Model size (Compact) | ~13 kB |

Model Hyperparameters

- Feature Selection: 11/11 individual features selected
- PCA: Disabled
- Optimizer: Not applicable

TABLA 5 MODELOS DE ENTRENAMIENTO Y TEST DE DATOS SINTÉTICOS**ILUSTRACIÓN 18 GRÁFICA COMPARATIVA DE LA RESPUESTA REAL OBTENIDA FRENTE A LAS PREDICCIONES**

**ILUSTRACIÓN 19 GRÁFICA SHAPLEY INTERVENCIONAL****ILUSTRACIÓN 20 GRÁFICA SHAPLEY CONDICIONAL**

FACTOR RUIDO = 4.7 (CON RUIDO Y VARIABLES ESPURIAS)

The screenshot shows the SAS Enterprise Miner interface. On the left, the 'Model Catalog' lists several models:

- 1 Tree (RMSE (Validation): 0.00025834, Last change: Fine Tree, 11/11 features)
- 2.1 Linear Regression (RMSE (Validation): 0.00013730, Last change: Linear, 11/11 features)
- 2.2 Linear Regression (RMSE (Validation): 0.00014410, Last change: Interactions Linear, 11/11 features)
- 2.3 Linear Regression (RMSE (Validation): 0.00013727, Last change: Robust Linear, 11/11 features)
- 2.4 Stepwise Linear Regr... (RMSE (Validation): 0.00013684, Last change: Stepwise Linear, 11/11 features)**
- 2.5 Tree (RMSE (Validation): 0.00025834, Last change: Fine Tree, 11/11 features)

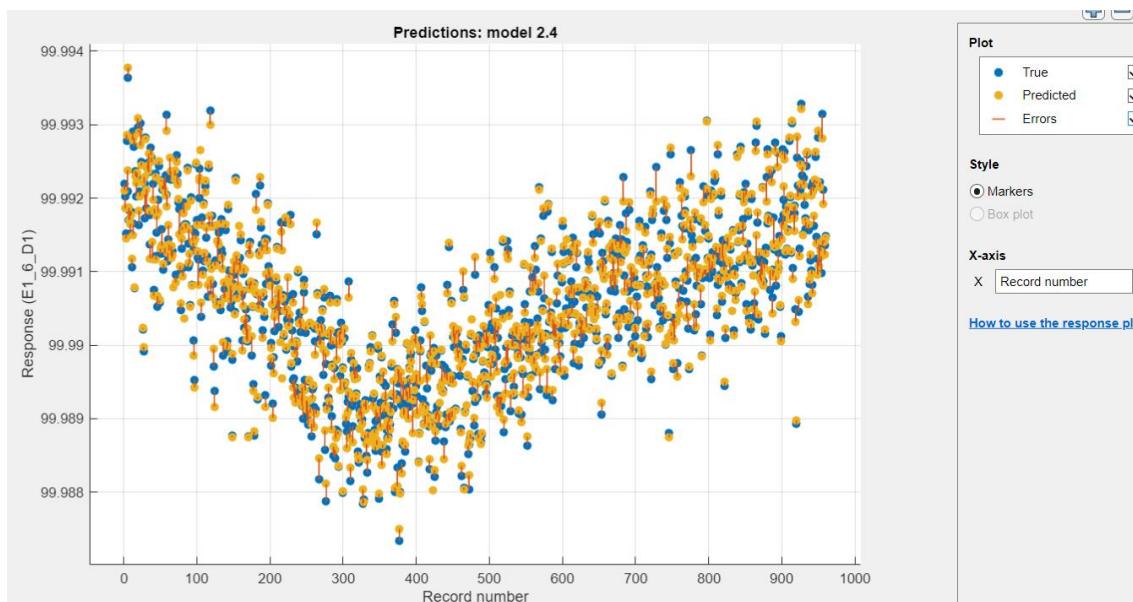
The right panel, titled 'Model 2.4: Stepwise Linear Regression Status: Trained', displays the 'Training Results' and 'Model Hyperparameters'.

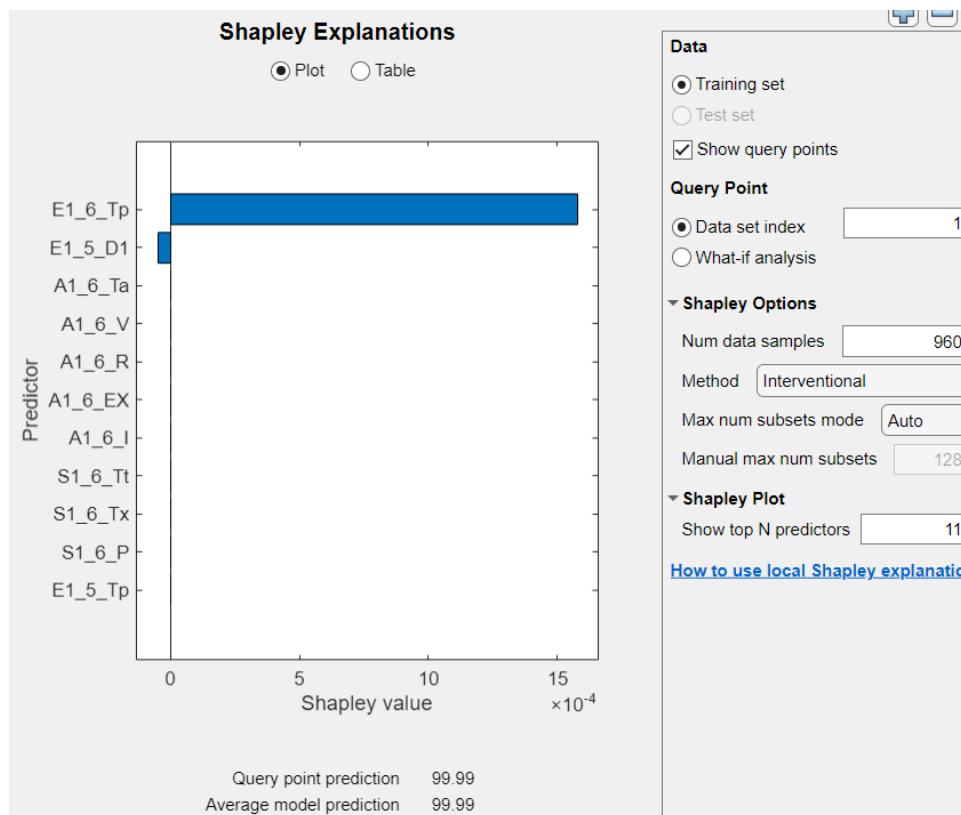
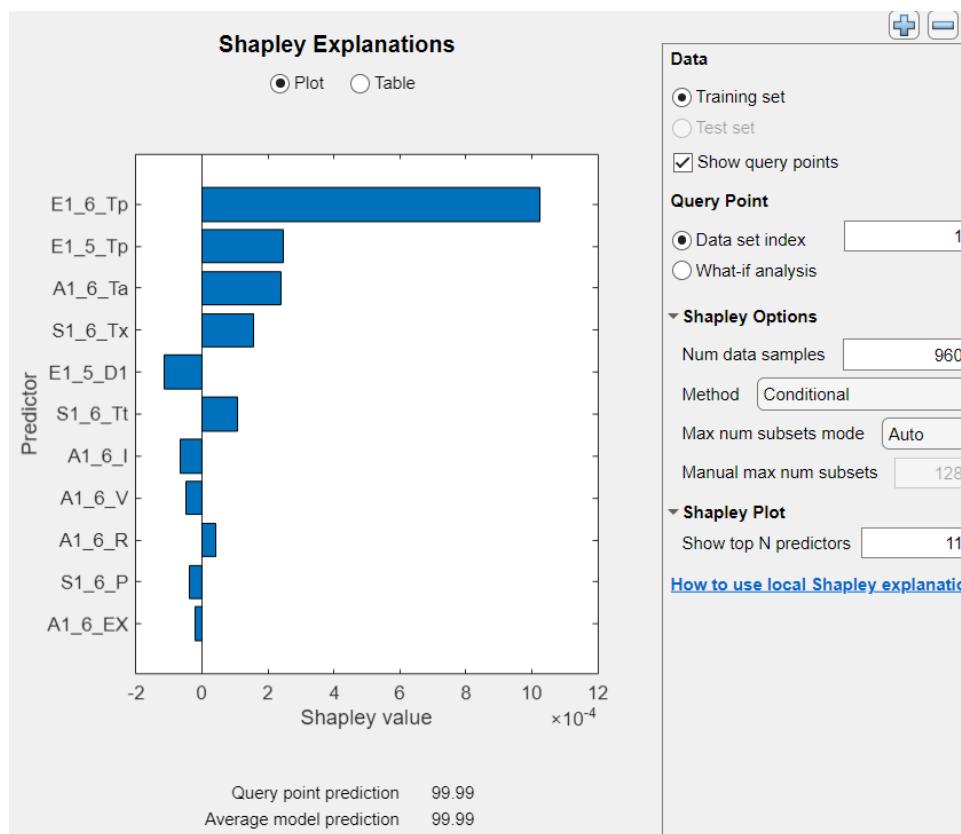
Training Results

- RMSE (Validation) 0.00013684
- R-Squared (Validation) 0.98
- MSE (Validation) 1.8726e-08
- MAE (Validation) 0.00010755
- MAPE (Validation) 0.0%
- Prediction speed ~27000 obs/sec
- Training time 36.048 sec
- Model size (Compact) ~9 kB

Model Hyperparameters

- Feature Selection: 11/11 individual features selected
- PCA: Disabled
- Optimizer: Not applicable

TABLA 6 MODELOS DE ENTRENAMIENTO Y TEST DE DATOS SINTÉTICOS**ILUSTRACIÓN 21 GRÁFICA COMPARATIVA DE LA RESPUESTA REAL OBTENIDA FRENTE A LAS PREDICCIONES**

**ILUSTRACIÓN 22 GRÁFICA SHAPLEY INTERVENCIONAL****ILUSTRACIÓN 23 GRÁFICA SHAPLEY CONDICIONAL**

FACTOR RUIDO = 7.5 (CON RUIDO Y VARIABLES ESPURIAS)

| | |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Tree | RMSE (Validation): 0.00033113 |
| Last change: Fine Tree | 11/11 features |
| 2.1 Linear Regression | RMSE (Validation): 0.00021447 |
| Last change: Linear | 11/11 features |
| 2.2 Linear Regression | RMSE (Validation): 0.00022147 |
| Last change: Interactions Linear | 11/11 features |
| 2.3 Linear Regression | RMSE (Validation): 0.00021460 |
| Last change: Robust Linear | 11/11 features |
| 2.4 Stepwise Linear Regr... | RMSE (Validation): 0.00021601 |
| Last change: Stepwise Linear | 11/11 features |
| 2.5 Tree | RMSE (Validation): 0.00033113 |
| Last change: Fine Tree | 11/11 features |

Model 2.1: Linear Regression
Status: Trained

Training Results

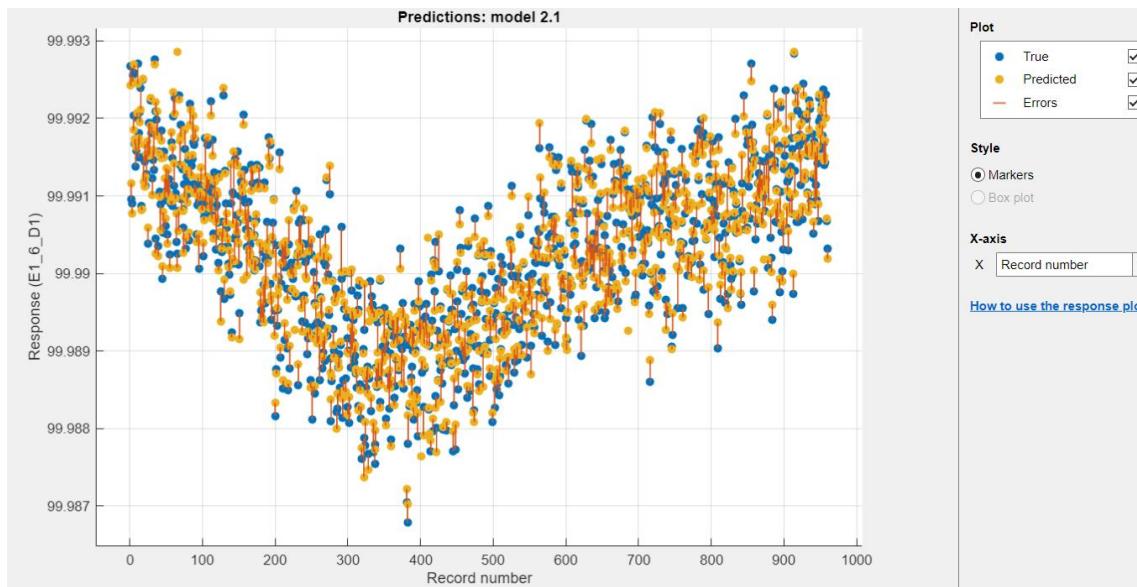
| | |
|------------------------|----------------|
| RMSE (Validation) | 0.00021447 |
| R-Squared (Validation) | 0.96 |
| MSE (Validation) | 4.5998e-08 |
| MAE (Validation) | 0.00017233 |
| MAPE (Validation) | 0.0% |
| Prediction speed | ~21000 obs/sec |
| Training time | 5.6024 sec |
| Model size (Compact) | ~13 kB |

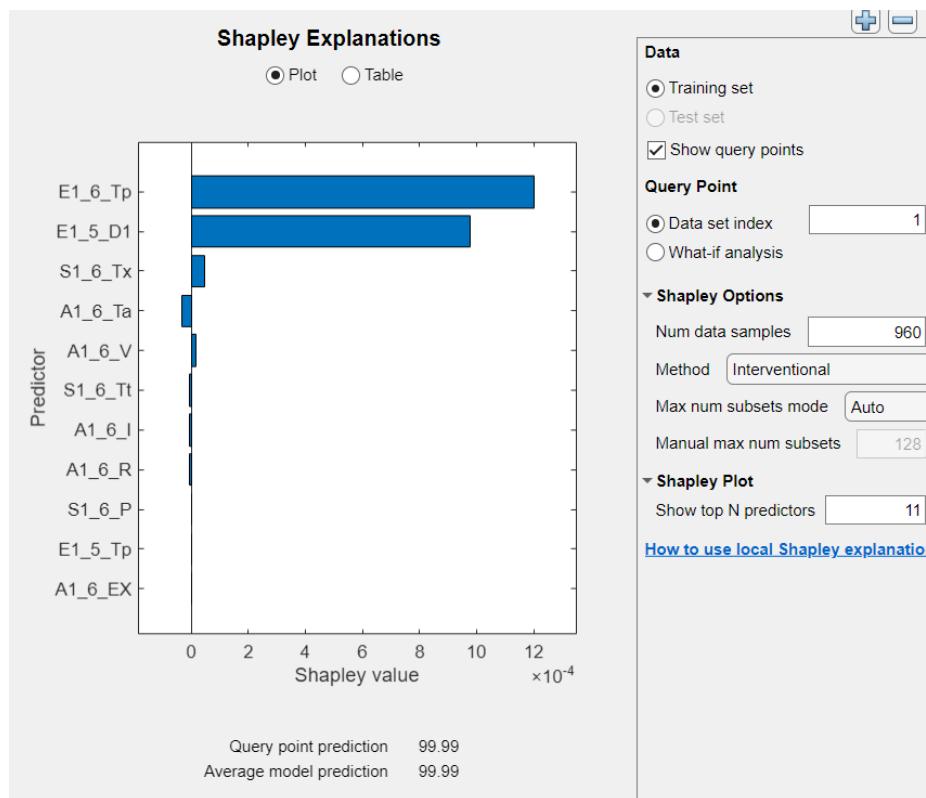
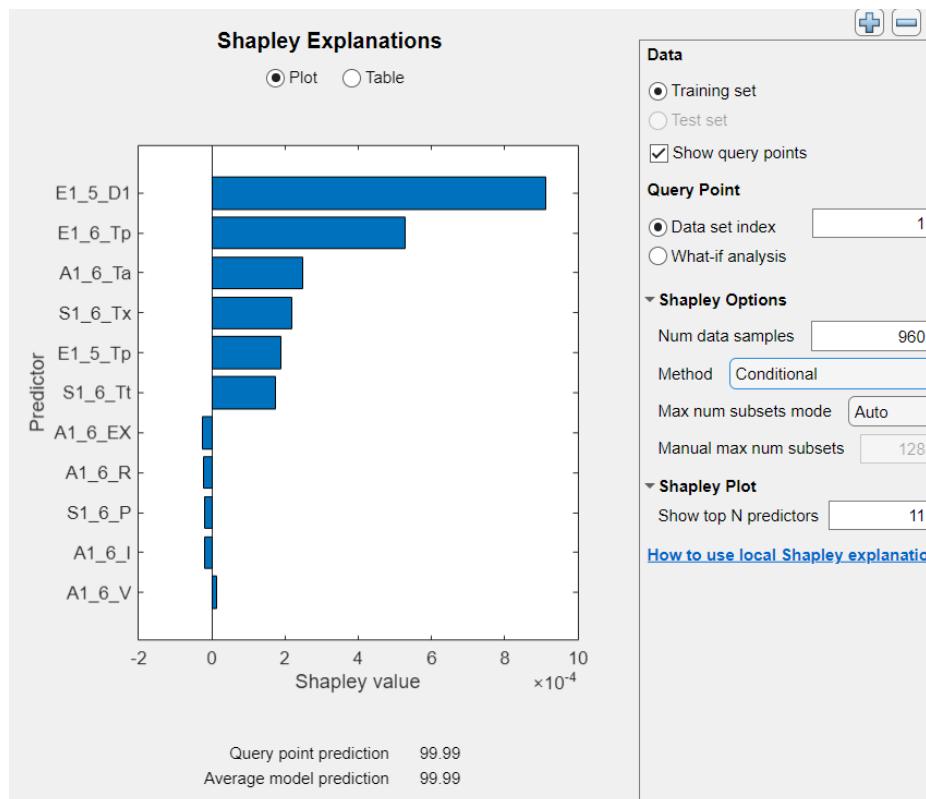
► **Model Hyperparameters**

► **Feature Selection:** 11/11 individual features selected

► **PCA:** Disabled

► **Optimizer:** Not applicable

TABLA 7 MODELOS DE ENTRENAMIENTO Y TEST DE DATOS SINTÉTICOS**ILUSTRACIÓN 24 GRÁFICA COMPARATIVA DE LA RESPUESTA REAL OBTENIDA FRENTE A LAS PREDICCIONES**

**ILUSTRACIÓN 25 GRÁFICA SHAPLEY INTERVENCIONAL****ILUSTRACIÓN 26 GRÁFICA SHAPLEY CONDICIONAL**

ANEXO 3 CONOS

En este anexo se procede de la misma forma que se ha hecho con los conos A pero esta vez con los conos B:

CONOS B

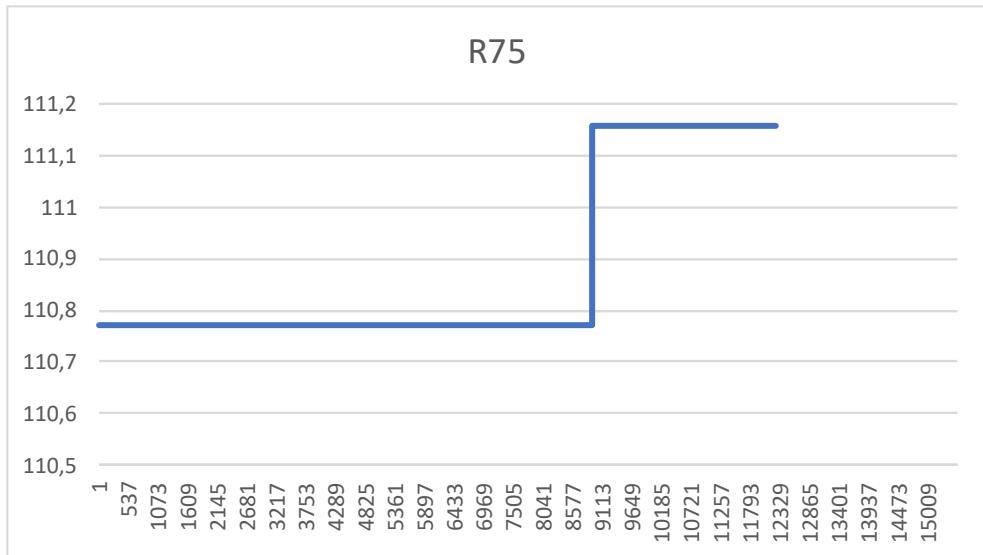


ILUSTRACIÓN 27 GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA POSICIÓN FIN DE TRABAJO Z

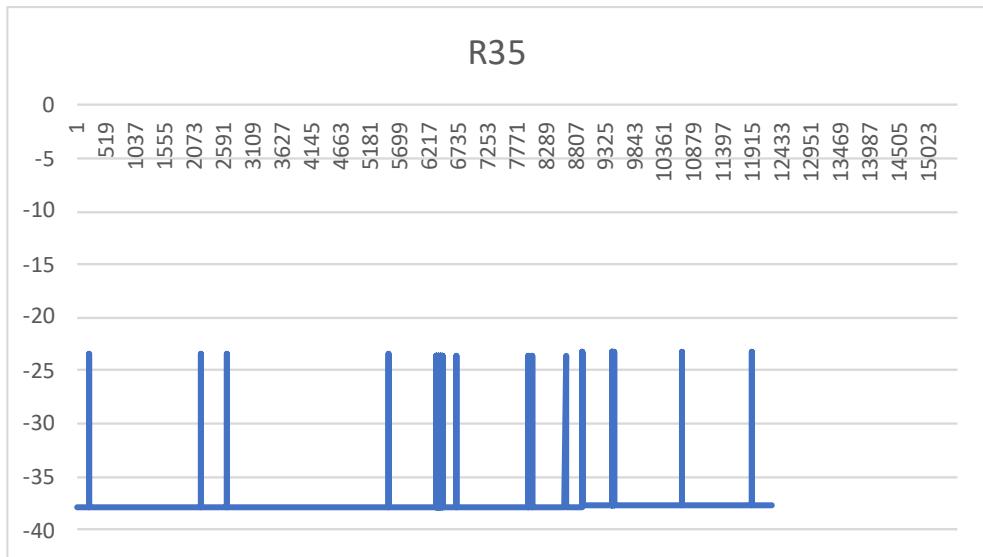


ILUSTRACIÓN 28 GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA POSICIÓN FIN DE TRABAJO X

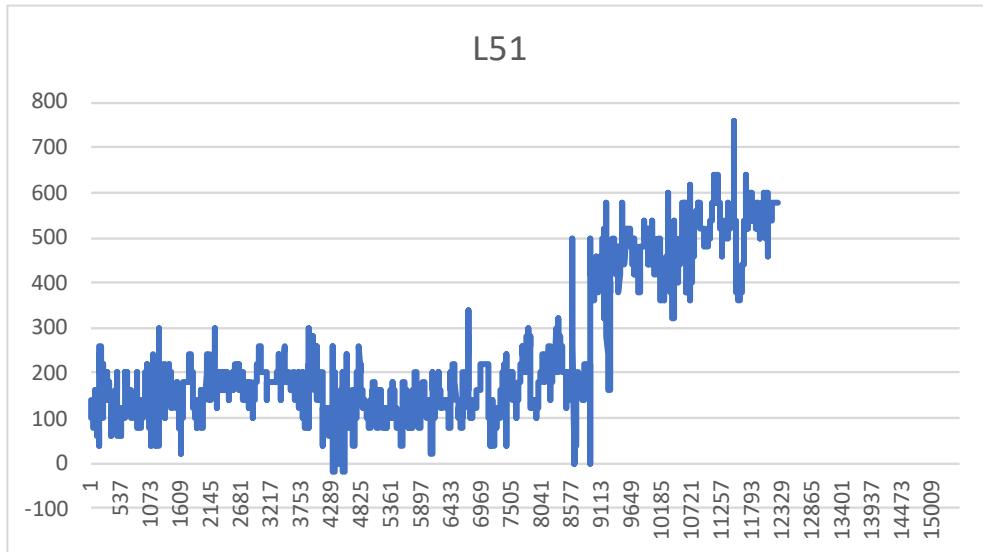


ILUSTRACIÓN 29 GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA SUMA DE CORRECCIONES EJE X

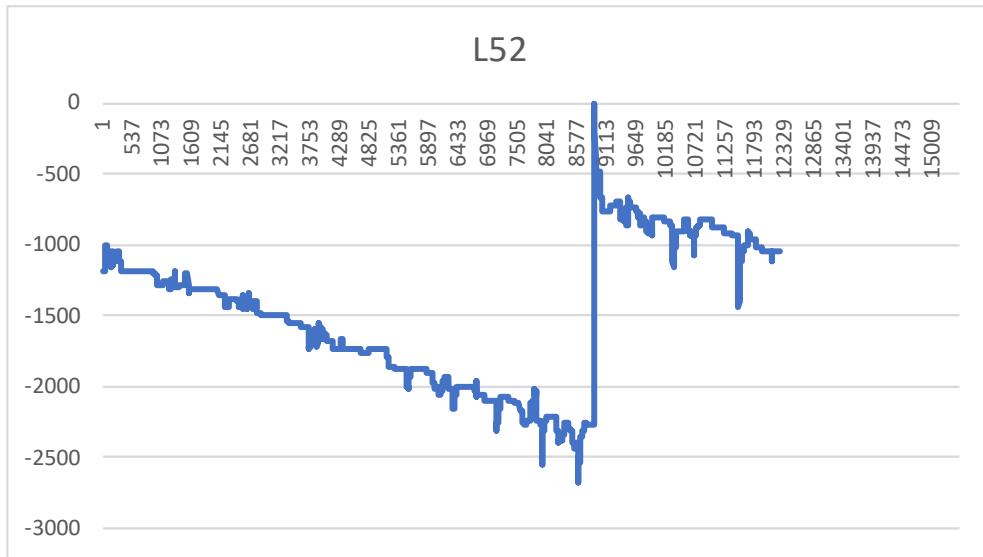
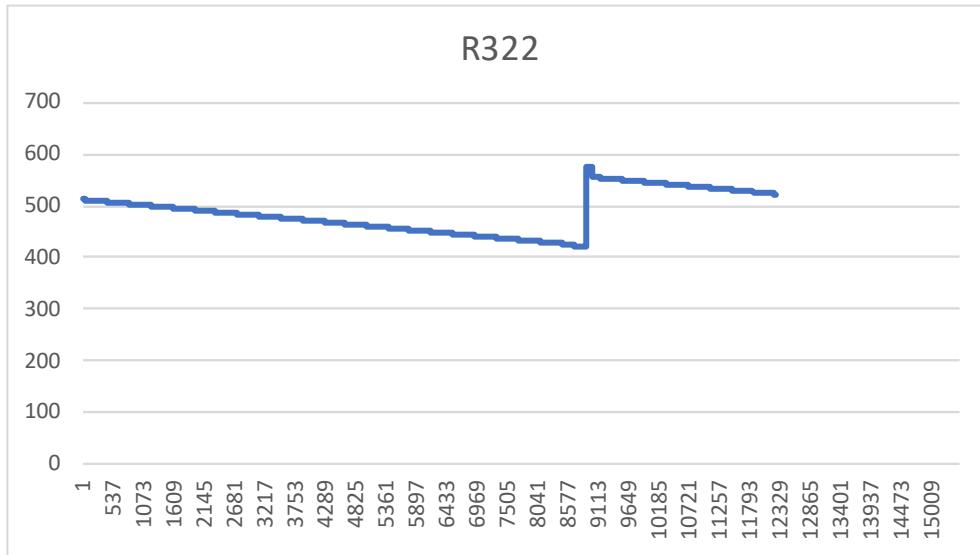


ILUSTRACIÓN 30 GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA SUMA DE CORRECCIONES EJE Z

**ILUSTRACIÓN 31 GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DEL DIÁMETRO ACTUAL DE MUELA**

ENTRENAMIENTO Y TEST POR CONOS

ENTRENAMIENTO CONO A1 Y TEST CONO A2

| | | |
|---|-------------------------------------|--|
| 2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.037190 | Last change: Bagged Trees 5/5 features |
| 2.18 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.014378 | |
| 2.19 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.014248 | Last change: Matern 5/2 GPR 5/5 features |
| 2.20 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.020759 | |
| 2.21 Gaussian Process Re... | RMSE (Validation): 0.0083277 | Last change: Rational Quadratic GPR 5/5 features |
| 2.22 Neural Network | RMSE (Test): 3.3211e+10 | |
| 2.23 Neural Network | RMSE (Test): 5.2447e+10 | Last change: Medium Neural Network 5/5 features |
| 2.24 Neural Network | RMSE (Test): 2.0795e+10 | |
| 2.25 Neural Network | RMSE (Test): 3.8206e+10 | Last change: Wide Neural Network 5/5 features |
| 2.26 Neural Network | RMSE (Test): 7.3367e+09 | |
| 2.27 Kernel | RMSE (Validation): 0.0096372 | Last change: Trilayered Neural Network 5/5 features |

Model 2.19: Gaussian Process Regression
Status: Tested

Training Results

| | |
|------------------------|---------------|
| RMSE (Validation) | 0.0086692 |
| R-Squared (Validation) | 0.64 |
| MSE (Validation) | 7.5154e-05 |
| MAE (Validation) | 0.0058129 |
| MAPE (Validation) | 1131.3% |
| Prediction speed | ~2900 obs/sec |
| Training time | 372.79 sec |
| Model size (Compact) | ~422 kB |

Test Results

| | |
|------------------|------------|
| RMSE (Test) | 0.014248 |
| R-Squared (Test) | -0.14 |
| MSE (Test) | 0.00020299 |
| MAE (Test) | 0.010596 |
| MAPE (Test) | 287.2% |

Model Hyperparameters

- Preset: Matern 5/2 GPR
- Basis function: Constant
- Kernel function: Matern 5/2
- Use isotropic kernel: Yes
- Kernel scale: Automatic
- Signal standard deviation: Automatic
- Sigma: Automatic
- Standardize data: Yes
- Optimize numeric parameters: Yes

► **Feature Selection:** 5/5 individual features selected

► **PCA:** Disabled

► **Optimizer:** Not applicable

TABLA 8 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS CONOS

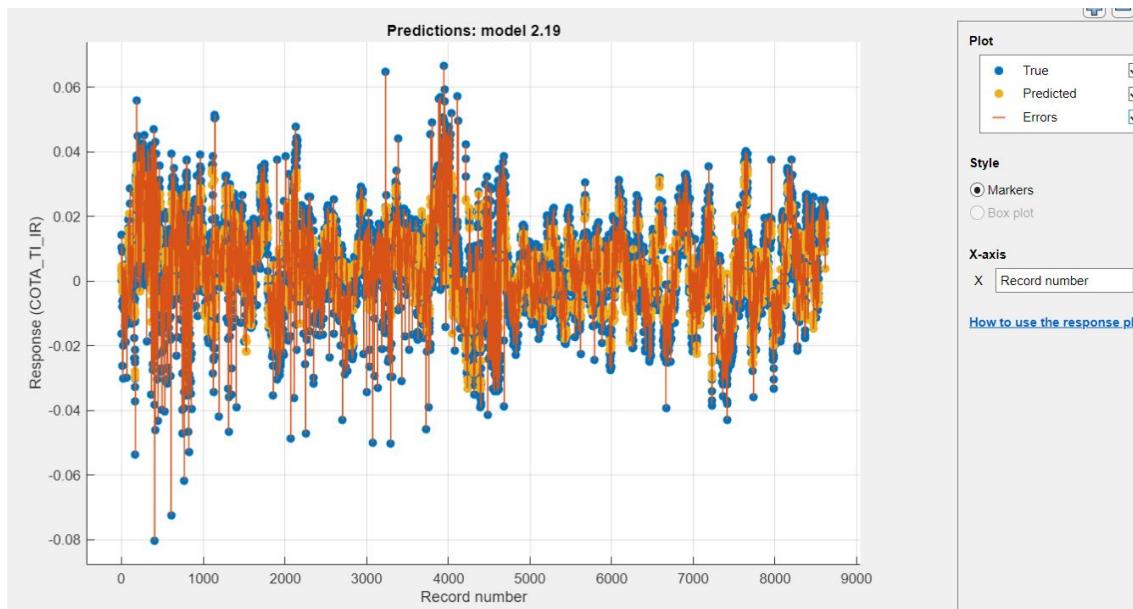


ILUSTRACIÓN 32 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICCIÓNES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS CONOS

ENTRENAMIENTO CONO A1 Y TEST CONO B2

| | |
|---|------------------------------|
| 2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.035018 |
| Last change: Bagged Trees | 5/5 features |
| 2.18 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.014398 |
| Last change: Squared Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.19 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.014341 |
| Last change: Matern 5/2 GPR | 5/5 features |
| 2.20 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.020203 |
| Last change: Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.21 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.021804 |
| Last change: Rational Quadratic GPR | 5/5 features |
| 2.22 Neural Network | RMSE (Test): 1.3065e+11 |
| Last change: Narrow Neural Network | 5/5 features |
| 2.23 Neural Network | RMSE (Test): 1.9827e+11 |
| Last change: Medium Neural Network | 5/5 features |
| 2.24 Neural Network | RMSE (Test): 4.9793e+10 |
| Last change: Wide Neural Network | 5/5 features |

Model 2.19: Gaussian Process Regression
Status: Tested

Training Results

| | |
|------------------------|---------------|
| RMSE (Validation) | 0.0086692 |
| R-Squared (Validation) | 0.64 |
| MSE (Validation) | 7.5154e-05 |
| MAE (Validation) | 0.0058129 |
| MAPE (Validation) | 1131.3% |
| Prediction speed | ~2900 obs/sec |
| Training time | 372.79 sec |
| Model size (Compact) | ~422 kB |

Test Results

| | |
|------------------|------------|
| RMSE (Test) | 0.014341 |
| R-Squared (Test) | -0.04 |
| MSE (Test) | 0.00020565 |
| MAE (Test) | 0.010550 |
| MAPE (Test) | 306.5% |

Model Hyperparameters

- ▶ Feature Selection: 5/5 individual features selected
- ▶ PCA: Disabled
- ▶ Optimizer: Not applicable

TABLA 9 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS CONOS

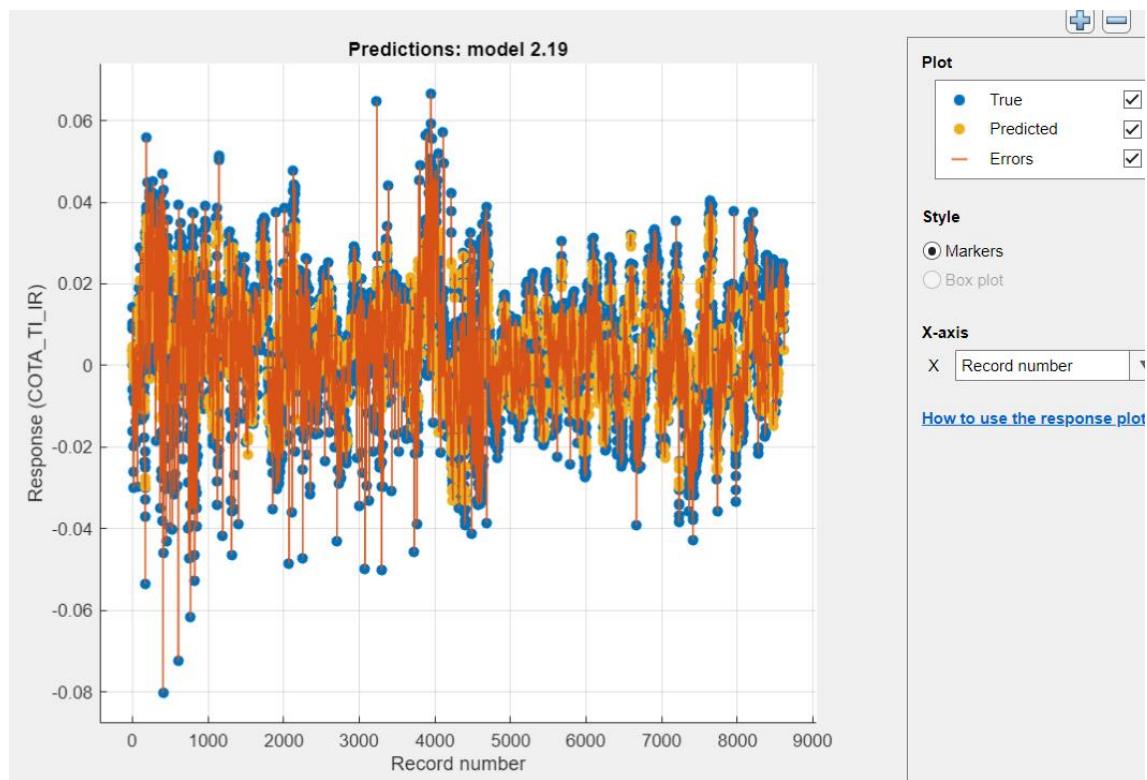
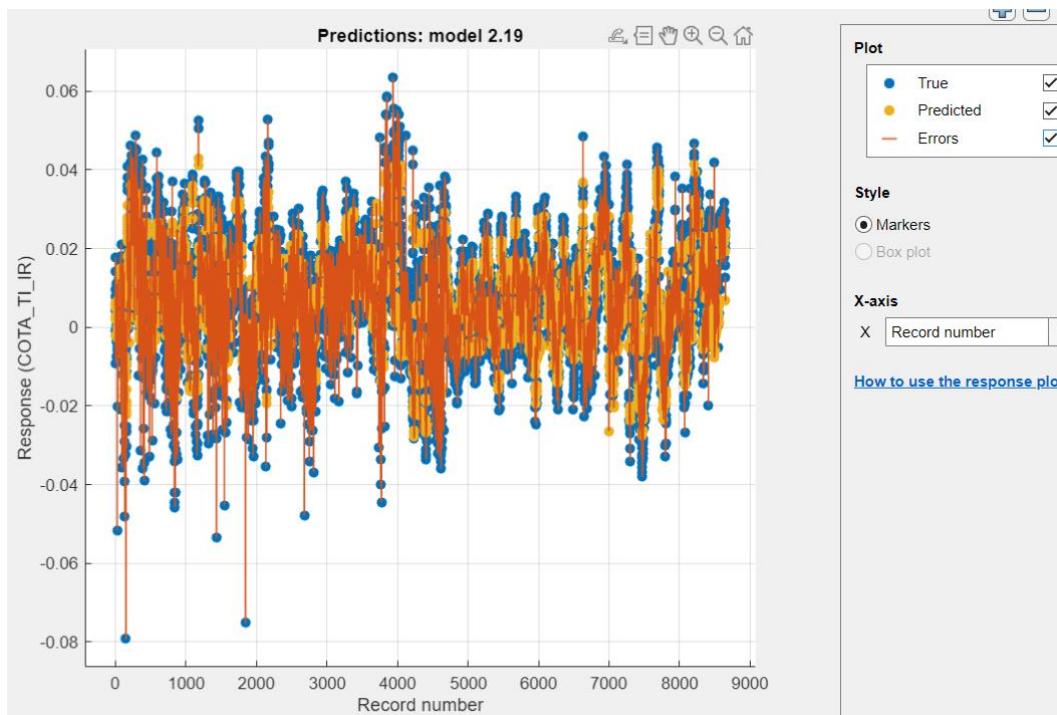


ILUSTRACIÓN 33 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS CONOS

ENTRENAMIENTO CONO B1 Y TEST CONO B2

| | |
|--|--|
| 2.17 Ensemble RMSE (Test): 0.035795 Last change: Bagged Trees 5/5 features | Model 2.19 : Gaussian Process Regression Status: Tested |
| 2.18 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.015376 Last change: Squared Exponential GPR 5/5 feature | Training Results RMSE (Validation) 0.0083577 R-Squared (Validation) 0.67 MSE (Validation) 6.9851e-05 MAE (Validation) 0.0058024 MAPE (Validation) 235.0% Prediction speed ~3300 obs/sec Training time 396.27 sec Model size (Compact) ~423 kB |
| 2.19 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.015271 Last change: Matern 5/2 GPR 5/5 features | Test Results RMSE (Test) 0.015271 R-Squared (Test) -0.18 MSE (Test) 0.00023320 MAE (Test) 0.011144 MAPE (Test) 480.4% |
| 2.20 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.019246 Last change: Exponential GPR 5/5 features | Model Hyperparameters Preset: Matern 5/2 GPR Basis function: Constant Kernel function: Matern 5/2 Use isotropic kernel: Yes Kernel scale: Automatic Signal standard deviation: Automatic Sigma: Automatic Standardize data: Yes Optimize numeric parameters: Yes |
| 2.21 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.023062 Last change: Rational Quadratic GPR 5/5 features | Feature Selection: 5/5 individual features selected |
| 2.22 Neural Net... RMSE (Test): 1.0460e+10 Last change: Narrow Neural Network 5/5 features | PCA: Disabled |
| 2.23 Neural Net... RMSE (Test): 9.7396e+09 Last change: Medium Neural Network 5/5 features | Optimizer: Not applicable |
| 2.24 Neural Net... RMSE (Test): 7.8830e+09 Last change: Wide Neural Network 5/5 features | |
| 2.25 Neural Net... RMSE (Test): 6.7712e+09 Last change: Bilayered Neural Network 5/5 features | |
| 2.26 Neural Net... RMSE (Test): 1.1206e+09 Last change: Trilayered Neural Network 5/5 feature | |
| 2.27 Kernel RMSE (Test): 0.049976 Last change: SVM Kernel 5/5 features | |

TABLA 10 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS CONOS**ILUSTRACIÓN 34 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICCIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS CONOS**

ENTRENAMIENTO CONO A1 Y TEST CONO A2

| | |
|---------------------------------------|------------------------------|
| 2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.037948 |
| Last change: Bagged Trees | 5/5 features |
| 2.18 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.015852 |
| Last change: Squared Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.19 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.015709 |
| Last change: Matern 5/2 GPR | 5/5 features |
| 2.20 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.019808 |
| Last change: Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.21 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.024587 |
| Last change: Rational Quadratic GPR | 5/5 features |
| 2.22 Neural Network | RMSE (Test): 1.0460e+10 |
| Last change: Narrow Neural Network | 5/5 features |
| 2.23 Neural Network | RMSE (Test): 9.7395e+09 |
| Last change: Medium Neural Network | 5/5 features |
| 2.24 Neural Network | RMSE (Test): 7.8830e+09 |
| Last change: Wide Neural Network | 5/5 features |
| 2.25 Neural Network | RMSE (Test): 6.7712e+09 |
| Last change: Bilayered Neural Network | 5/5 features |

Model 2.19: Gaussian Process Regression
Status: Tested

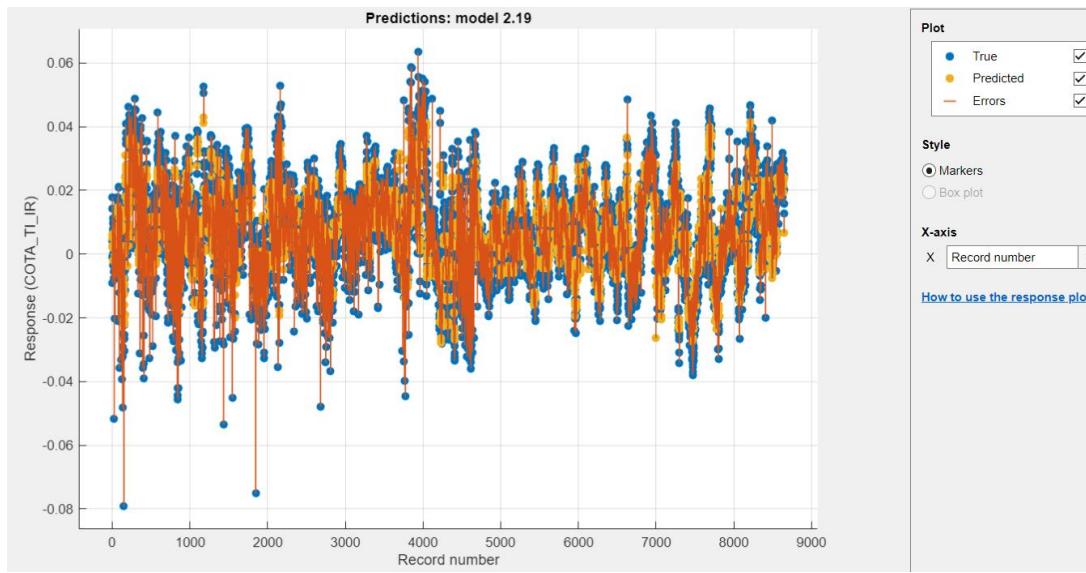
Training Results

| | |
|------------------------|---------------|
| RMSE (Validation) | 0.0083577 |
| R-Squared (Validation) | 0.67 |
| MSE (Validation) | 6.9851e-05 |
| MAE (Validation) | 0.0058024 |
| MAPE (Validation) | 235.0% |
| Prediction speed | ~3300 obs/sec |
| Training time | 396.27 sec |
| Model size (Compact) | ~423 kB |

Test Results

| | |
|------------------|------------|
| RMSE (Test) | 0.015709 |
| R-Squared (Test) | -0.39 |
| MSE (Test) | 0.00024676 |
| MAE (Test) | 0.011929 |
| MAPE (Test) | 450.0% |

► **Model Hyperparameters**
 ► **Feature Selection:** 5/5 individual features selected
 ► **PCA:** Disabled
 ► **Optimizer:** Not applicable

TABLA 11 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS CONOS**ILUSTRACIÓN 35 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS CONOS**

ENTRENAMIENTO Y TEST POR SEMANAS

CONO A: ENTRENAMIENTO DEL DÍA 2 AL 9 Y TEST DEL 10 AL 16

| | | |
|--|---|--|
| 2.11 SVM RMSE (Test): 0.013304 | Last change: Fine Gaussian SVM 5/5 features | Model 2.12: SVM Status: Tested |
| 2.12 SVM RMSE (Test): 0.010680 | Last change: Medium Gaussian SVM 5/5 features | |
| 2.13 SVM RMSE (Test): 0.024504 | Last change: Coarse Gaussian SVM 5/5 features | |
| 2.14 Efficient Linear RMSE (Test): 0.012840 | Last change: Efficient Linear Least Squares 5/5 fea | |
| 2.15 Efficient Linear RMSE (Test): 0.013509 | Last change: Efficient Linear SVM 5/5 features | |
| 2.16 Ensemble RMSE (Test): 0.012611 | Last change: Boosted Trees 5/5 features | |
| 2.17 Ensemble RMSE (Test): 0.013391 | Last change: Bagged Trees 5/5 features | |
| 2.18 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.015952 | Last change: Squared Exponential GPR 5/5 feature | Preset: Medium Gaussian SVM Kernel function: Gaussian Kernel scale: 2.2 Box constraint: Automatic Epsilon: Auto Standardize data: Yes |
| 2.19 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.014084 | Last change: Matern 5/2 GPR 5/5 features | |
| 2.20 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.012105 | Last change: Exponential GPR 5/5 features | |
| 2.21 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.011293 | Last change: Rational Quadratic GPR 5/5 features | |

TABLA 12 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS CONOS

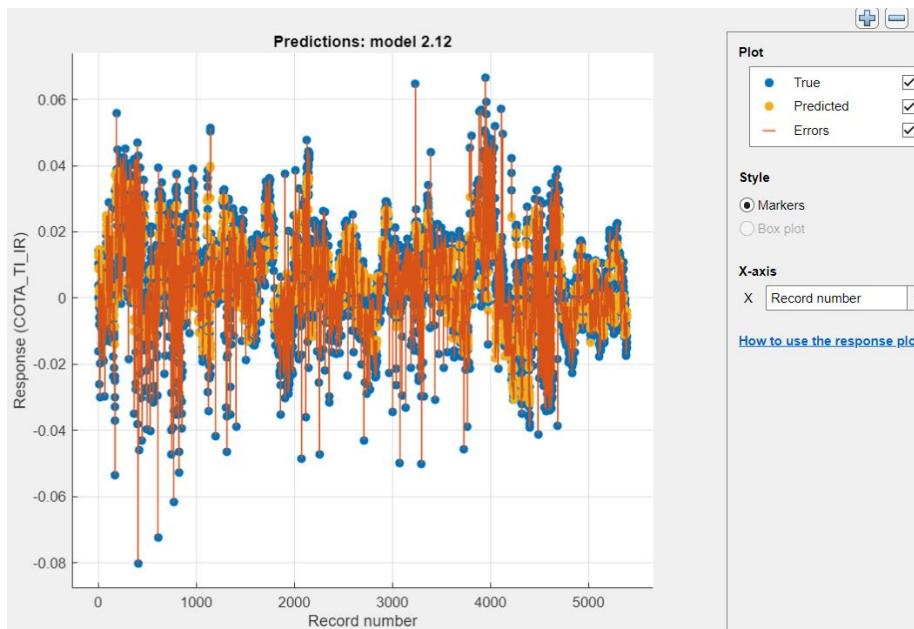


ILUSTRACIÓN 36 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS CONOS

CONO A: ENTRENAMIENTO DEL DÍA 2 AL 9 Y TEST DEL 19 AL 24

| Sort by Model Number | | 5/5 features |
|---|---|------------------------------|
| Last change: Fine Gaussian SVM | | |
| | 2.12 SVM | RMSE (Test): 0.013355 |
| Last change: Medium Gaussian SVM | | |
| | 2.13 SVM | RMSE (Test): 0.062271 |
| Last change: Coarse Gaussian SVM | | |
| | 2.14 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.073072 |
| Last change: Efficient Linear Least Squares | | |
| | 2.15 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.014454 |
| Last change: Efficient Linear SVM | | |
| | 2.16 Ensemble | RMSE (Test): 0.034438 |
| Last change: Boosted Trees | | |
| | 2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.038769 |
| Last change: Bagged Trees | | |
| | 2.18 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.014489 |
| Last change: Squared Exponential GPR | | |
| | 2.19 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.016104 |
| Last change: Matern 5/2 GPR | | |
| | 2.20 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.035040 |
| Last change: Exponential GPR | | |
| | 2.21 Gaussian Process Re... | RMSE (Validation): 0.0096921 |
| Last change: Rational Quadratic GPR | | |

Summary X | Response Plot X

Model 2.12: SVM
Status: Tested

Training Results

| | |
|------------------------|----------------|
| RMSE (Validation) | 0.010189 |
| R-Squared (Validation) | 0.53 |
| MSE (Validation) | 0.00010381 |
| MAE (Validation) | 0.0066386 |
| MAPE (Validation) | 193.4% |
| Prediction speed | ~28000 obs/sec |
| Training time | 10.721 sec |
| Model size (Compact) | ~212 kB |

Test Results

| | |
|------------------|------------|
| RMSE (Test) | 0.013355 |
| R-Squared (Test) | -0.00 |
| MSE (Test) | 0.00017835 |
| MAE (Test) | 0.010022 |
| MAPE (Test) | 104.7% |

Model Hyperparameters

- Preset: Medium Gaussian SVM
- Kernel function: Gaussian
- Kernel scale: 2.2
- Box constraint: Automatic
- Epsilon: Auto
- Standardize data: Yes

► Feature Selection: 5/5 individual features selected
 ► PCA: Disabled
 ► Optimizer: Not applicable

TABLA 13 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS CONOS

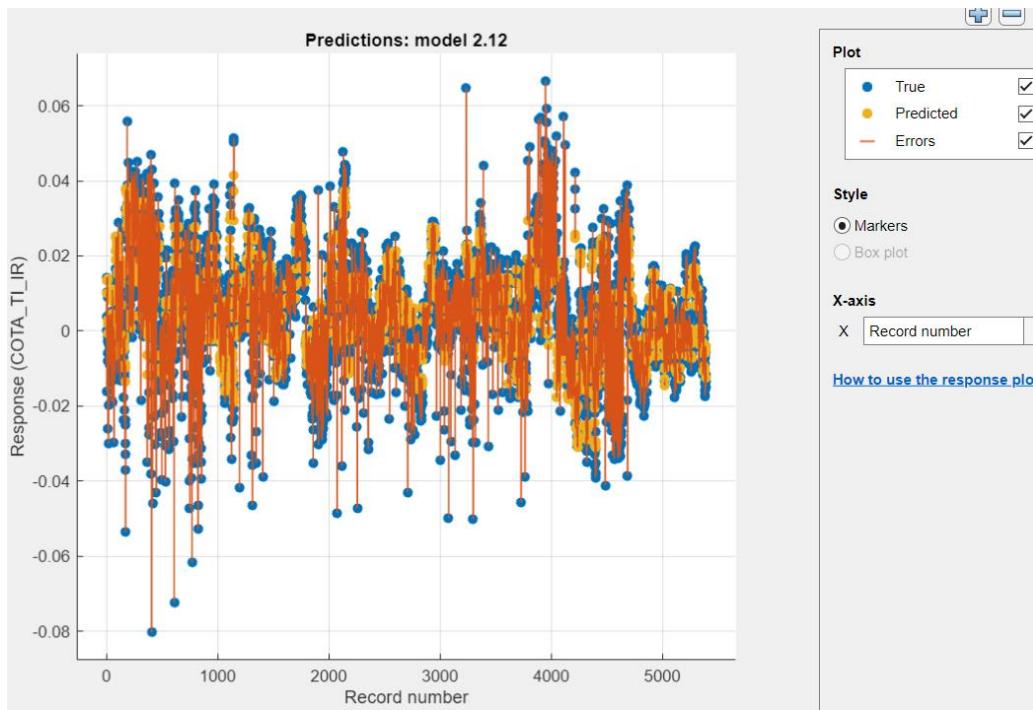


ILUSTRACIÓN 37 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICCIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS CONOS

CONO B: ENTRENAMIENTO DEL DÍA 2 AL 9 Y TEST DEL 10 AL 16

| Sort by | Model Number | RMSE (Test) | Features |
|---------|----------------------------------|-------------|--------------|
| Star | 2.16 Ensemble | 0.011942 | 5/5 features |
| Star | 2.17 Ensemble | 0.012072 | 5/5 features |
| Star | 2.18 Gaussian Process Regression | 0.013903 | 5/5 features |
| Star | 2.19 Gaussian Process Regression | 0.014518 | 5/5 features |
| Star | 2.20 Gaussian Process Regression | 0.013114 | 5/5 features |
| Star | 2.21 Gaussian Process Regression | 0.011621 | 5/5 features |
| Star | 2.22 Neural Network | 2.5108e+09 | 5/5 features |
| Star | 2.23 Neural Network | 5.5691e+08 | 5/5 features |
| Star | 2.24 Neural Network | 7.5546e+08 | 5/5 features |
| Star | 2.25 Neural Network | 1.0597e+09 | 5/5 features |
| Star | 2.26 Neural Network | 2.9995e+08 | 5/5 features |

Summary X Response Plot X

Model 2.21: Gaussian Process Regression
Status: Tested

Training Results

| | |
|------------------------|---------------|
| RMSE (Validation) | 0.0093050 |
| R-Squared (Validation) | 0.60 |
| MSE (Validation) | 8.6584e-05 |
| MAE (Validation) | 0.0063866 |
| MAPE (Validation) | 234.6% |
| Prediction speed | ~6300 obs/sec |
| Training time | 527.34 sec |
| Model size (Compact) | ~267 kB |

Test Results

| | |
|------------------|------------|
| RMSE (Test) | 0.011621 |
| R-Squared (Test) | 0.30 |
| MSE (Test) | 0.00013504 |
| MAE (Test) | 0.0091529 |
| MAPE (Test) | 510.8% |

Model Hyperparameters

- Preset: Rational Quadratic GPR
- Basis function: Constant
- Kernel function: Rational Quadratic
- Use isotropic kernel: Yes
- Kernel scale: Automatic
- Signal standard deviation: Automatic
- Sigma: Automatic
- Standardize data: Yes
- Optimize numeric parameters: Yes

► Feature Selection: 5/5 individual features selected
 ► PCA: Disabled
 ► Optimizer: Not applicable

TABLA 14 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS CONOS

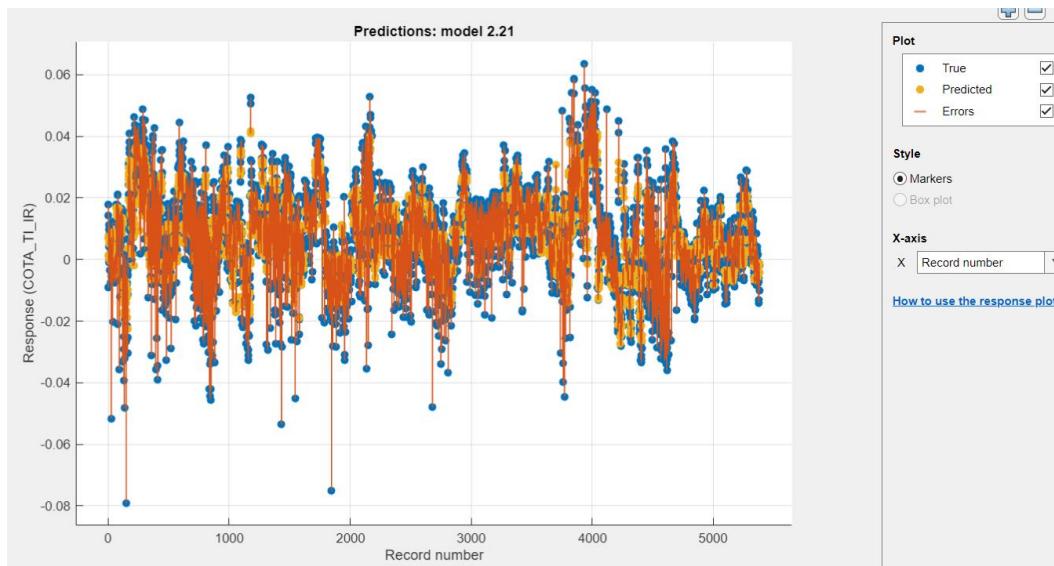


ILUSTRACIÓN 38 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICCIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS CONOS

CONO A: ENTRENAMIENTO DEL DÍA 10 AL 16 Y TEST DEL 19 AL 24

| | |
|---|-----------------------|
| Last change: Medium Gaussian SVM | 5/5 features |
| 2.13 SVM | RMSE (Test): 0.013556 |
| Last change: Coarse Gaussian SVM | 5/5 features |
| 2.14 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.058747 |
| Last change: Efficient Linear Least Squares | 5/5 features |
| 2.15 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.072512 |
| Last change: Efficient Linear SVM | 5/5 features |
| 2.16 Ensemble | RMSE (Test): 0.015196 |
| Last change: Boosted Trees | 5/5 features |
| 2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.014835 |
| Last change: Bagged Trees | 5/5 features |
| 2.18 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.013431 |
| Last change: Squared Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.19 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.013460 |
| Last change: Matern 5/2 GPR | 5/5 features |
| 2.20 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.013849 |
| Last change: Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.21 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.013648 |
| Last change: Rational Quadratic GPR | 5/5 features |
| 2.22 Neural Network | RMSE (Test): 0.16533 |
| Last change: Narrow Neural Network | 5/5 features |
| 2.23 Neural Network | RMSE (Test): 0.76567 |
| Last change: Medium Neural Network | 5/5 features |
| 2.24 Neural Network | RMSE (Test): 0.072168 |
| Last change: Wide Neural Network | 5/5 features |

Model 2.19: Gaussian Process Regression
Status: Tested

Training Results
RMSE (Validation) 0.0057934
R-Squared (Validation) 0.81
MSE (Validation) 3.3564e-05
MAE (Validation) 0.0041856
MAPE (Validation) 2339.1%
Prediction speed ~11000 obs/sec
Training time 166.31 sec
Model size (Compact) ~165 kB

Test Results
RMSE (Test) 0.013460
R-Squared (Test) -0.02
MSE (Test) 0.00018118
MAE (Test) 0.010040
MAPE (Test) 140.9%

Model Hyperparameters
Preset: Matern 5/2 GPR
Basis function: Constant
Kernel function: Matern 5/2
Use isotropic kernel: Yes
Kernel scale: Automatic
Signal standard deviation: Automatic
Sigma: Automatic
Standardize data: Yes
Optimize numeric parameters: Yes

▶ Feature Selection: 5/5 individual features selected
▶ PCA: Disabled
▶ Optimizer: Not applicable

TABLA 15 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS CONOS

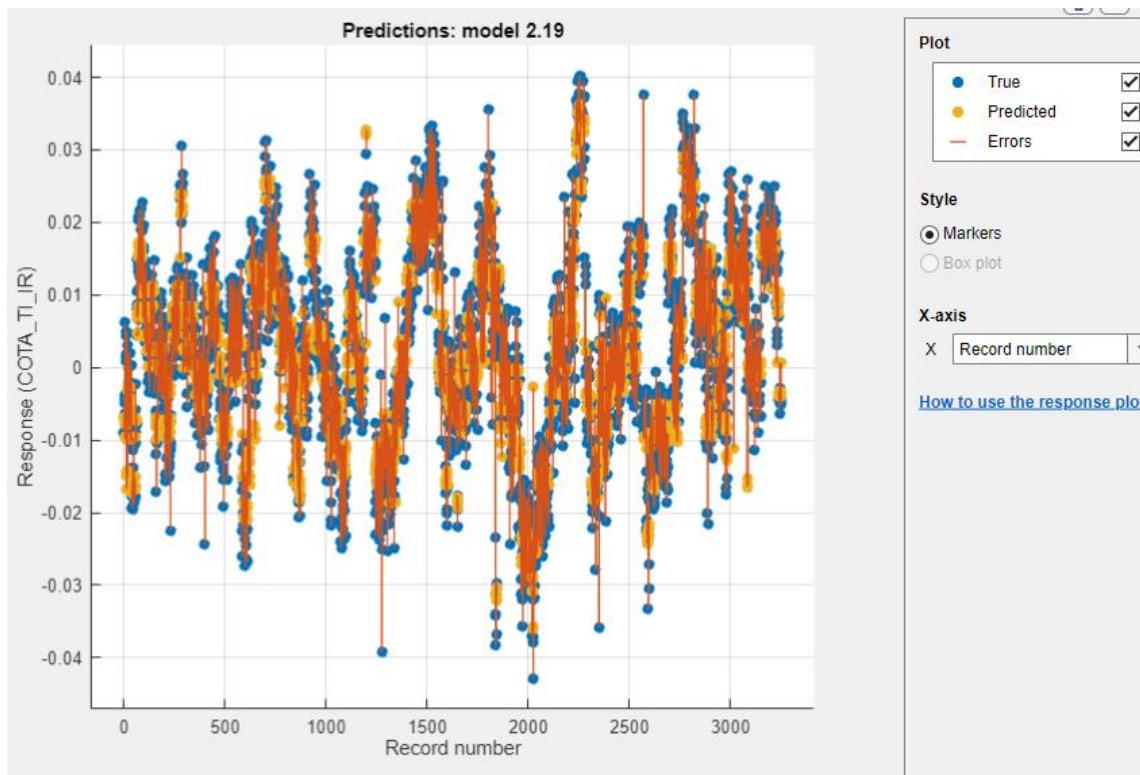


ILUSTRACIÓN 39 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS CONOS

CONO B: ENTRENAMIENTO DEL DÍA 2 AL 9 Y TEST DEL 19 AL 24

| Model Number | Model Type | RMSE (Test) | Last change | Features |
|--------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------|--------------|
| 2.16 | Ensemble | 0.036700 | Boosted Trees | 5/5 features |
| 2.17 | Ensemble | 0.035374 | Bagged Trees | 5/5 features |
| 2.18 | Gaussian Process Regression | 0.015308 | Squared Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.19 | Gaussian Process Regression | 0.015969 | Matern 5/2 GPR | 5/5 features |
| 2.20 | Gaussian Process Regression | 0.037878 | Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.21 | Gaussian Process Regression | 0.024485 | Rational Quadratic GPR | 5/5 features |
| 2.22 | Neural Network | 3.0016e+10 | Narrow Neural Network | 5/5 features |
| 2.23 | Neural Network | 6.6576e+09 | Medium Neural Network | 5/5 features |

Summary X Response Plot X

Model 2.21: Gaussian Process Regression
Status: Tested

Training Results

| | |
|------------------------|---------------|
| RMSE (Validation) | 0.0093050 |
| R-Squared (Validation) | 0.60 |
| MSE (Validation) | 8.6584e-05 |
| MAE (Validation) | 0.0063866 |
| MAPE (Validation) | 234.6% |
| Prediction speed | ~6300 obs/sec |
| Training time | 527.34 sec |
| Model size (Compact) | ~267 kB |

Test Results

| | |
|------------------|------------|
| RMSE (Test) | 0.024485 |
| R-Squared (Test) | -2.02 |
| MSE (Test) | 0.00059952 |
| MAE (Test) | 0.020035 |
| MAPE (Test) | 1229.1% |

Model Hyperparameters

- ▶ Feature Selection: 5/5 individual features selected
- ▶ PCA: Disabled
- ▶ Optimizer: Not applicable

TABLA 16 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS CONOS

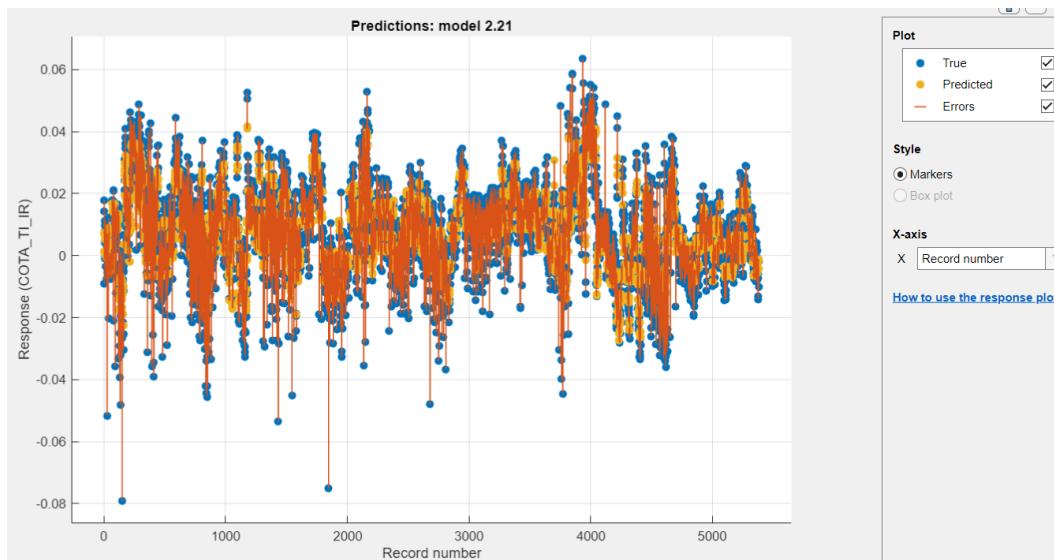


ILUSTRACIÓN 40 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS CONOS

CONO B: ENTRENAMIENTO DEL DÍA 10 AL 16 Y TEST DEL 19 AL 24

| Sort by Model Number | | RMSE (Test): 0.014880 |
|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| ★ | 2.15 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.014880 |
| Last change: Efficient Linear SVM | | 5/5 features |
| ★ | 2.16 Ensemble | RMSE (Test): 0.018619 |
| Last change: Boosted Trees | | 5/5 features |
| ★ | 2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.017688 |
| Last change: Bagged Trees | | 5/5 features |
| ★ | 2.18 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.014695 |
| Last change: Squared Exponential GPR | | 5/5 features |
| ★ | 2.19 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.014776 |
| Last change: Matern 5/2 GPR | | 5/5 features |
| ★ | 2.20 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.015541 |
| Last change: Exponential GPR | | 5/5 features |
| ★ | 2.21 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.015770 |
| Last change: Rational Quadratic GPR | | 5/5 features |
| ★ | 2.22 Neural Network | RMSE (Test): 0.038728 |
| Last change: Narrow Neural Network | | 5/5 features |
| ★ | 2.23 Neural Network | RMSE (Test): 0.065500 |
| Last change: Medium Neural Network | | 5/5 features |
| ★ | 2.24 Neural Network | RMSE (Test): 0.13575 |
| Last change: Wide Neural Network | | 5/5 features |
| ★ | 2.25 Neural Network | RMSE (Test): 0.084106 |
| Last change: Bilayered Neural Network | | 5/5 features |

Summary

Model 2.18: Gaussian Process Regression
Status: Tested

Training Results

| | |
|------------------------|----------------|
| RMSE (Validation) | 0.0061247 |
| R-Squared (Validation) | 0.81 |
| MSE (Validation) | 3.7512e-05 |
| MAE (Validation) | 0.0044440 |
| MAPE (Validation) | 180.7% |
| Prediction speed | ~13000 obs/sec |
| Training time | 446.63 sec |
| Model size (Compact) | ~167 kB |

Test Results

| | |
|------------------|------------|
| RMSE (Test) | 0.014695 |
| R-Squared (Test) | -0.09 |
| MSE (Test) | 0.00021594 |
| MAE (Test) | 0.010735 |
| MAPE (Test) | 375.8% |

Model Hyperparameters

- Preset: Squared Exponential GPR
- Basis function: Constant
- Kernel function: Squared Exponential
- Use isotropic kernel: Yes
- Kernel scale: Automatic
- Signal standard deviation: Automatic
- Sigma: Automatic
- Standardize data: Yes
- Optimize numeric parameters: Yes

▶ Feature Selection: 5/5 individual features selected

▶ PCA: Disabled

▶ Optimizer: Not applicable

TABLA 17 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS CONOS

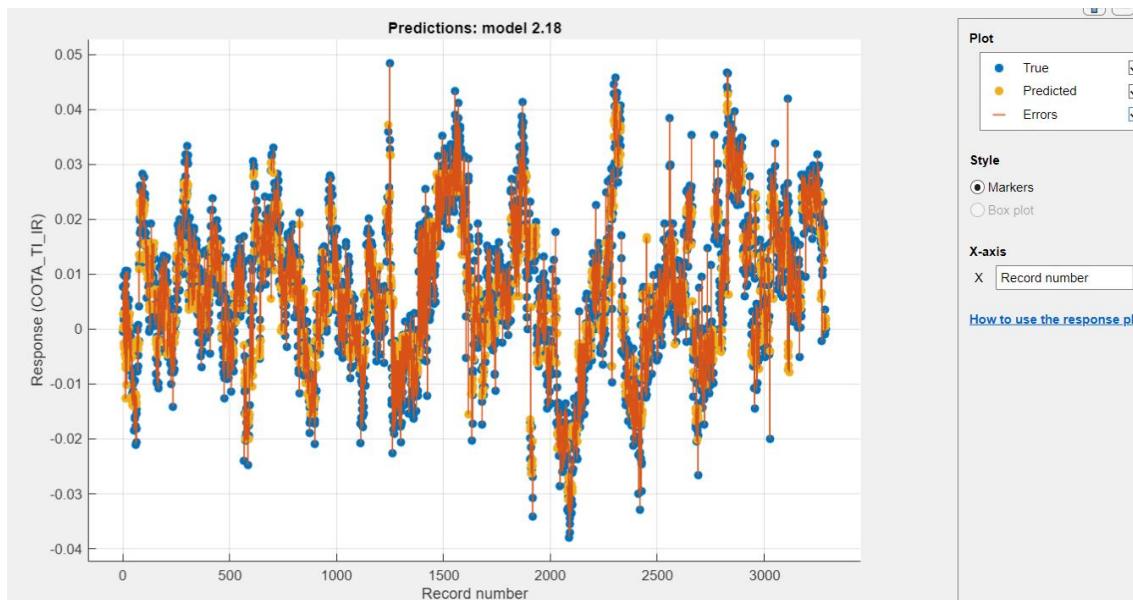


ILUSTRACIÓN 41 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS CONOS

ENTRENAMIENTO Y TEST POR DÍAS

ENTRENAMIENTO CONO A DÍA 3 Y TEST CONO B DÍA 4

| | | |
|---|-------------------------|--|
| Last change: Medium Gaussian SVM | 5/5 features | Model 2.20: Gaussian Process Regression Status: Tested Training Results RMSE (Validation): 0.012042 R-Squared (Validation): 0.50 MSE (Validation): 0.00014501 MAE (Validation): 0.0079068 MAPE (Validation): 147.4% Prediction speed: ~18000 obs/sec Training time: 29.816 sec Model size (Compact): ~66 kB Test Results RMSE (Test): 0.010389 R-Squared (Test): 0.47 MSE (Test): 0.00010793 MAE (Test): 0.0072454 MAPE (Test): 576.2% Model Hyperparameters Preset: Exponential GPR Basis function: Constant Kernel function: Exponential Use isotropic kernel: Yes Kernel scale: Automatic Signal standard deviation: Automatic Sigma: Automatic Standardize data: Yes Optimize numeric parameters: Yes ▶ Feature Selection: 5/5 individual features selected ▶ PCA: Disabled ▶ Optimizer: Not applicable |
| 2.13 SVM | RMSE (Test): 0.0098771 | |
| Last change: Coarse Gaussian SVM | 5/5 features | |
| 2.14 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.010369 | |
| Last change: Efficient Linear Least Squares | 5/5 features | |
| 2.15 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.014102 | |
| Last change: Efficient Linear SVM | 5/5 features | |
| 2.16 Ensemble | RMSE (Test): 0.010906 | |
| Last change: Boosted Trees | 5/5 features | |
| 2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.011185 | |
| Last change: Bagged Trees | 5/5 features | |
| 2.18 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.010947 | |
| Last change: Squared Exponential GPR | 5/5 features | |
| 2.19 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.010675 | |
| Last change: Matern 5/2 GPR | 5/5 features | |
| 2.20 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.010389 | |
| Last change: Exponential GPR | 5/5 features | |
| 2.21 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.010689 | |
| Last change: Rational Quadratic GPR | 5/5 features | |
| 2.22 Neural Network | RMSE (Test): 1.3462e+12 | |
| Last change: Narrow Neural Network | 5/5 features | |
| 2.23 Neural Network | RMSE (Test): 2.2643e+11 | |
| Last change: Medium Neural Network | 5/5 features | |

TABLA 18 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS CONOS

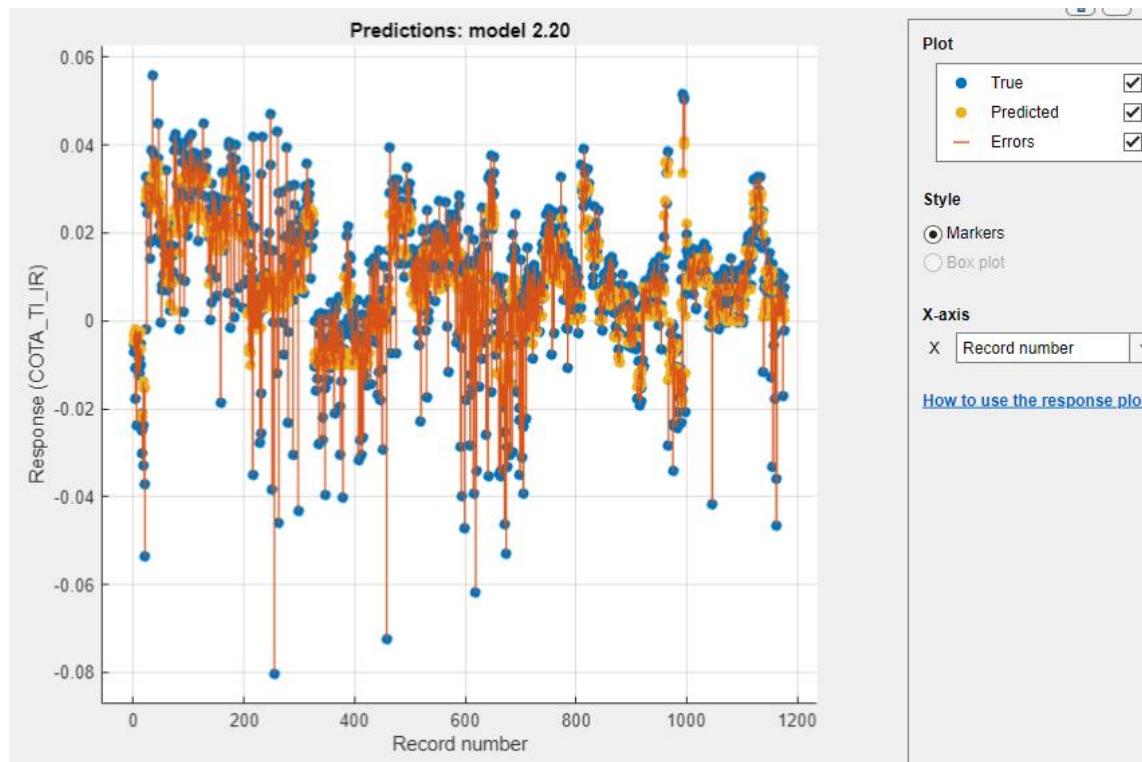


ILUSTRACIÓN 42 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS CONOS

ENTRENAMIENTO CONO A DÍA 3 Y TEST CONO B DÍA 11

| | | |
|---|------------------------|---|
| Last change: Medium Gaussian SVM | 5/5 features | Model 2.16: Ensemble |
| 2.13 SVM | RMSE (Test): 0.015188 | Status: Tested |
| Last change: Coarse Gaussian SVM | 5/5 features | |
| 2.14 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.018763 | Training Results |
| Last change: Efficient Linear Least Squares | 5/5 features | RMSE (Validation): 0.011907 R-Squared (Validation): 0.51 MSE (Validation): 0.00014178 MAE (Validation): 0.0078937 MAPE (Validation): 144.5% Prediction speed: ~11000 obs/sec Training time: 7.2021 sec Model size (Compact): ~156 kB |
| 2.15 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.013803 | |
| Last change: Efficient Linear SVM | 5/5 features | |
| 2.16 Ensemble | RMSE (Test): 0.0078289 | Test Results |
| Last change: Boosted Trees | 5/5 features | RMSE (Test): 0.0078289 R-Squared (Test): 0.68 MSE (Test): 6.1292e-05 MAE (Test): 0.0064576 MAPE (Test): 225.0% |
| 2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.0083636 | |
| Last change: Bagged Trees | 5/5 features | ▶ Model Hyperparameters |
| 2.18 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.014192 | ▶ Feature Selection: 5/5 individual features selected |
| Last change: Squared Exponential GPR | 5/5 features | ▶ PCA: Disabled |
| 2.19 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.013606 | ▶ Optimizer: Not applicable |
| Last change: Matern 5/2 GPR | 5/5 features | |
| 2.20 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.012392 | |
| Last change: Exponential GPR | 5/5 features | |

TABLA 19 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS CONOS

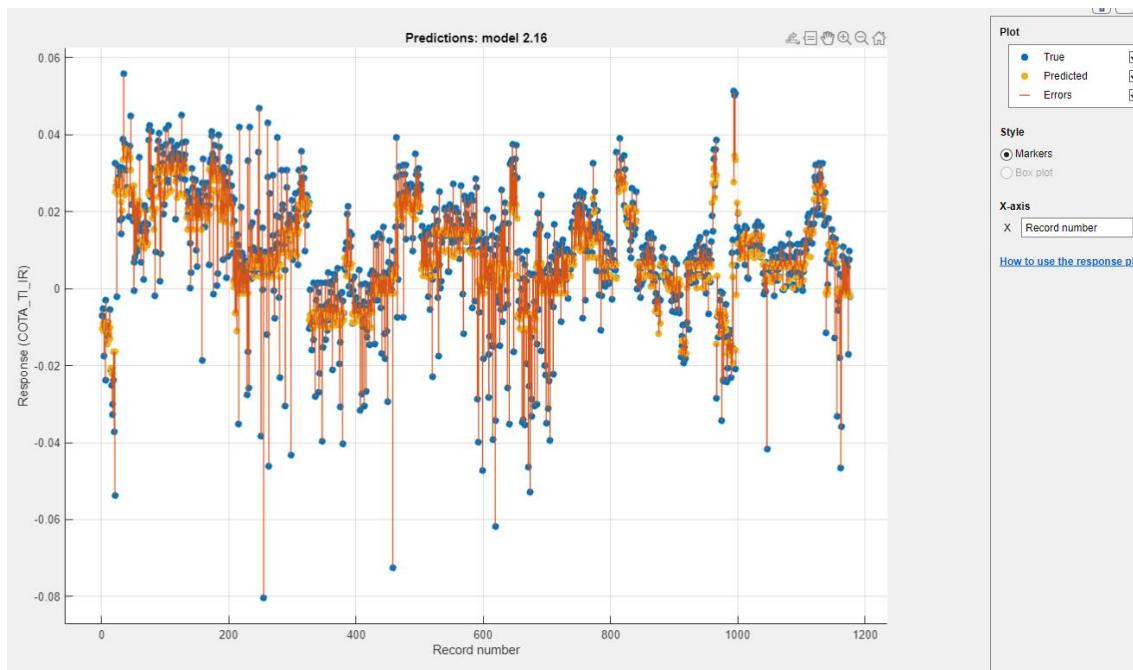


ILUSTRACIÓN 43 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS CONOS

ENTRENAMIENTO CONO A DÍA 3 Y TEST CONO B DÍA 20

| | |
|---|-------------------------|
| Last change: Medium Gaussian SVM | 5/5 features |
| 2.13 SVM | RMSE (Test): 0.014300 |
| Last change: Coarse Gaussian SVM | 5/5 features |
| 2.14 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.089411 |
| Last change: Efficient Linear Least Squares | 5/5 features |
| 2.15 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.011896 |
| Last change: Efficient Linear SVM | 5/5 features |
| 2.16 Ensemble | RMSE (Test): 0.027004 |
| Last change: Boosted Trees | 5/5 features |
| 2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.029701 |
| Last change: Bagged Trees | 5/5 features |
| 2.18 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.013569 |
| Last change: Squared Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.19 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.017899 |
| Last change: Matern 5/2 GPR | 5/5 features |
| 2.20 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.028626 |
| Last change: Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.21 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.019559 |
| Last change: Rational Quadratic GPR | 5/5 features |
| 2.22 Neural Network | RMSE (Test): 6.6964e+11 |
| Last change: Narrow Neural Network | 5/5 features |
| 2.23 Neural Network | RMSE (Test): 3.2374e+09 |
| Last change: Medium Neural Network | 5/5 features |

Model 2.18: Gaussian Process Regression
Status: Tested

Training Results
RMSE (Validation): 0.012204
R-Squared (Validation): 0.48
MSE (Validation): 0.00014893
MAE (Validation): 0.0081262
MAPE (Validation): 147.4%
Prediction speed: ~21000 obs/sec
Training time: 25.215 sec
Model size (Compact): ~66 kB

Test Results
RMSE (Test): 0.013569
R-Squared (Test): -0.34
MSE (Test): 0.00018413
MAE (Test): 0.010170
MAPE (Test): 730.4%

Model Hyperparameters
Preset: Squared Exponential GPR
Basis function: Constant
Kernel function: Squared Exponential
Use isotropic kernel: Yes
Kernel scale: Automatic
Signal standard deviation: Automatic
Sigma: Automatic
Standardize data: Yes
Optimize numeric parameters: Yes

► Feature Selection: 5/5 individual features selected
► PCA: Disabled
► Optimizer: Not applicable

TABLA 20 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS CONOS

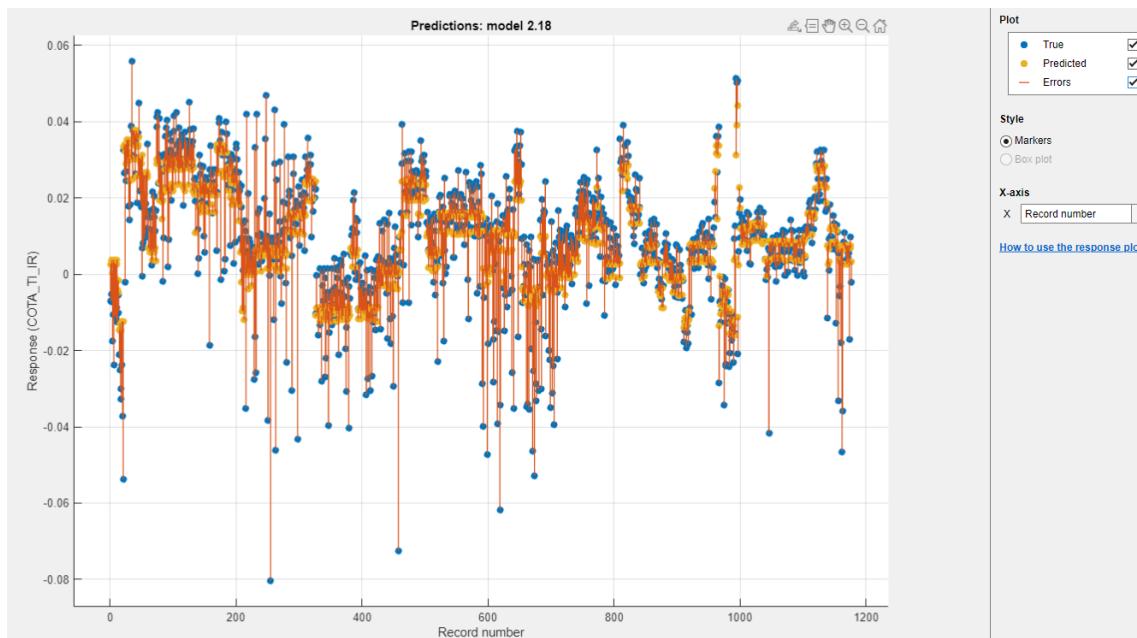


ILUSTRACIÓN 44 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICCIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS CONOS

ENTRENAMIENTO CONO A DÍA 23 Y TEST CONO B DÍA 23

| | | |
|---|-------------------------|---|
| Last change: Efficient Linear Least Squares | 5/5 features | Model 2.20: Gaussian Process Regression Status: Tested Training Results RMSE (Validation): 0.0047832 R-Squared (Validation): 0.83 MSE (Validation): 2.2879e-05 MAE (Validation): 0.0033584 MAPE (Validation): 181.8% Prediction speed: ~15000 obs/sec Training time: 44.072 sec Model size (Compact): ~76 kB Test Results RMSE (Test): 0.0057379 R-Squared (Test): 0.77 MSE (Test): 3.2923e-05 MAE (Test): 0.0040260 MAPE (Test): 178.0% Model Hyperparameters Preset: Exponential GPR Basis function: Constant Kernel function: Exponential Use isotropic kernel: Yes Kernel scale: Automatic Signal standard deviation: Automatic Sigma: Automatic Standardize data: Yes Optimize numeric parameters: Yes Feature Selection: 5/5 individual features selected PCA: Disabled Optimizer: Not applicable |
| 2.15 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.0077956 | |
| Last change: Efficient Linear SVM | 5/5 features | |
| 2.16 Ensemble | RMSE (Test): 0.0060583 | |
| Last change: Boosted Trees | 5/5 features | |
| 2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.0059787 | |
| Last change: Bagged Trees | 5/5 features | |
| 2.18 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.0064448 | |
| Last change: Squared Exponential GPR | 5/5 features | |
| 2.19 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.0063125 | |
| Last change: Matern 5/2 GPR | 5/5 features | |
| 2.20 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.0057379 | |
| Last change: Exponential GPR | 5/5 features | |
| 2.21 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.0057524 | |
| Last change: Rational Quadratic GPR | 5/5 features | |
| 2.22 Neural Network | RMSE (Test): 2.1445e+12 | |
| Last change: Narrow Neural Network | 5/5 features | |
| 2.23 Neural Network | RMSE (Test): 1.0050e+12 | |
| Last change: Medium Neural Network | 5/5 features | |
| 2.24 Neural Network | RMSE (Test): 1.1431e+12 | |
| Last change: Wide Neural Network | 5/5 features | |
| 2.25 Neural Network | RMSE (Test): 8.1516e+10 | |
| Last change: Bilayered Neural Network | 5/5 features | |

TABLA 21 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS CONOS

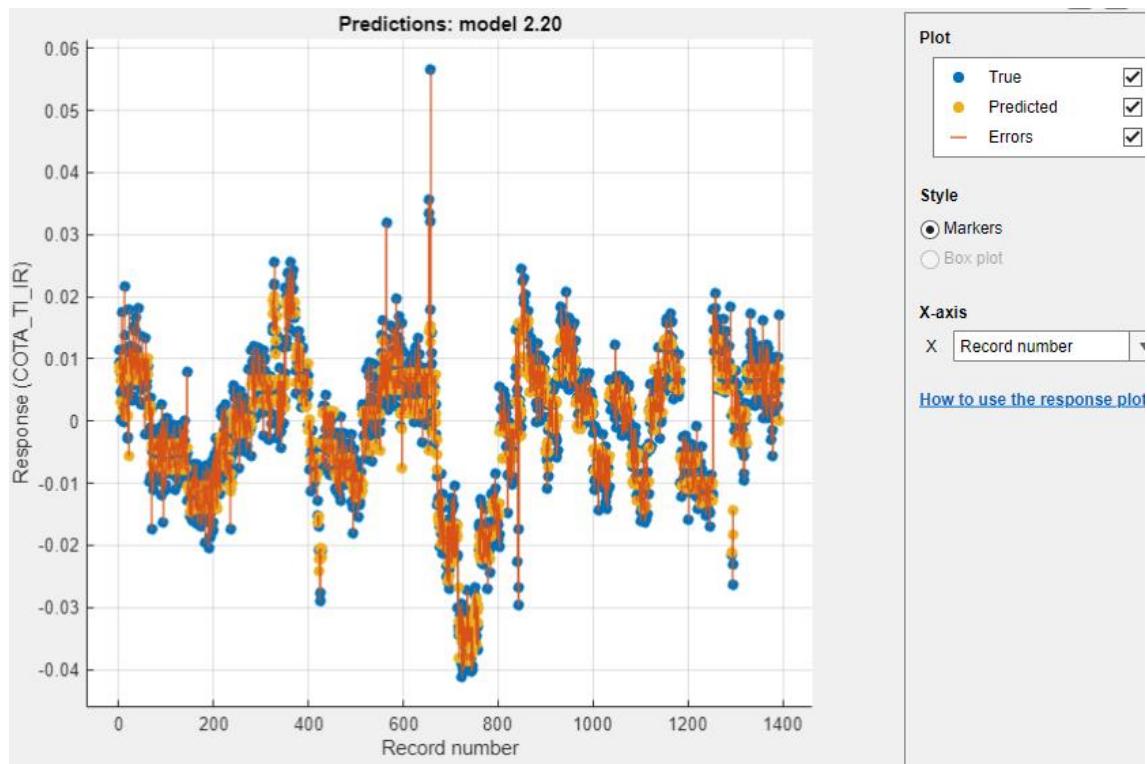


ILUSTRACIÓN 45 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICCIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS CONOS

ANEXO 4 AROS

ENTRENAMIENTO Y TEST POR MUELAS

ENTRENAMIENTO MUELA 7 Y TEST MUELA 36

| | |
|---|------------------------------|
|  2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.022916 |
| Last change: Bagged Trees | 5/5 features |
|  2.18 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.022409 |
| Last change: Squared Exponential GPR | 5/5 features |
|  2.19 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.022429 |
| Last change: Matern 5/2 GPR | 5/5 features |
|  2.20 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.021730 |
| Last change: Exponential GPR | 5/5 features |
|  2.21 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.020632 |
| Last change: Rational Quadratic GPR | 5/5 features |
|  2.22 Neural Network | RMSE (Test): 0.16255 |
| Last change: Narrow Neural Network | 5/5 features |
|  2.23 Neural Network | RMSE (Test): 2.5549 |
| Last change: Medium Neural Network | 5/5 features |
|  2.24 Neural Network | RMSE (Test): 0.75006 |
| Last change: Wide Neural Network | 5/5 features |
|  2.25 Neural Network | RMSE (Test): 0.31290 |
| Last change: Bilayered Neural Network | 5/5 features |
|  2.26 Neural Network | RMSE (Test): 0.84985 |
| Last change: Trilayered Neural Network | 5/5 features |
|  2.27 Kernel | RMSE (Test): 0.031387 |
| Last change: SVM Kernel | 5/5 features |

Model 2.21: Gaussian Process Regression
Status: Tested

Training Results

| | |
|------------------------|---------------|
| RMSE (Validation) | 0.017572 |
| R-Squared (Validation) | 0.56 |
| MSE (Validation) | 0.00030877 |
| MAE (Validation) | 0.011477 |
| MAPE (Validation) | 376.0% |
| Prediction speed | ~6400 obs/sec |
| Training time | 10.021 sec |
| Model size (Compact) | ~28 kB |

Test Results

| | |
|------------------|------------|
| RMSE (Test) | 0.020632 |
| R-Squared (Test) | -0.03 |
| MSE (Test) | 0.00042568 |
| MAE (Test) | 0.016468 |
| MAPE (Test) | 340.2% |

▼ **Model Hyperparameters**

- Preset: Rational Quadratic GPR
- Basis function: Constant
- Kernel function: Rational Quadratic
- Use isotropic kernel: Yes
- Kernel scale: Automatic
- Signal standard deviation: Automatic
- Sigma: Automatic
- Standardize data: Yes
- Optimize numeric parameters: Yes

► **Feature Selection:** 5/5 individual features selected

► **PCA:** Disabled

► **Optimizer:** Not applicable

TABLA 22 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS AROS

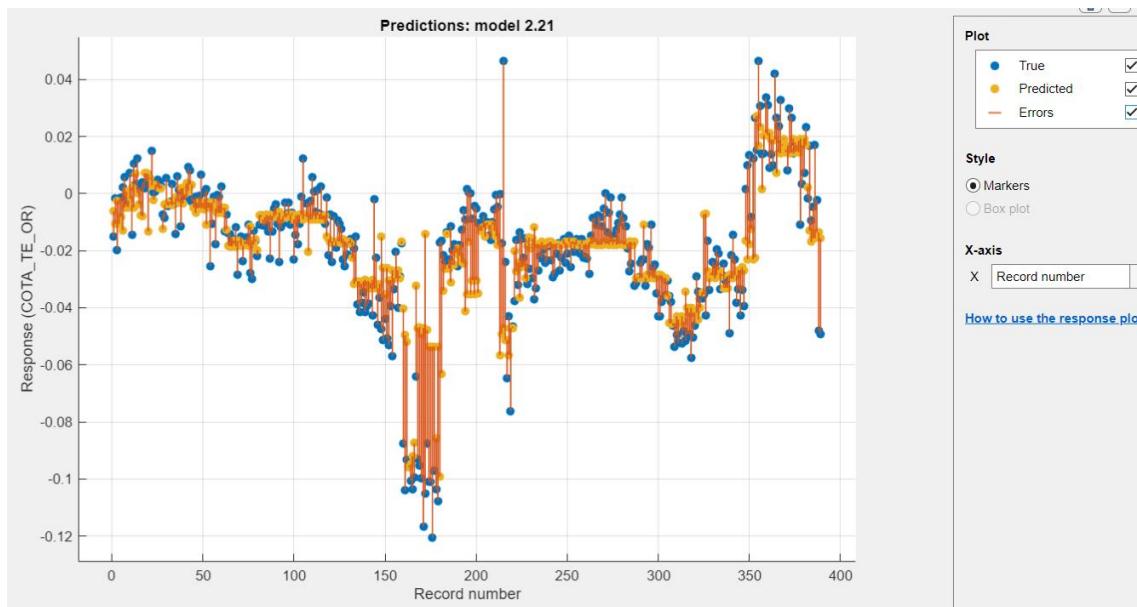


ILUSTRACIÓN 46 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICCIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS AROS

ENTRENAMIENTO MUELA 7 Y TEST MUELA 38

| | |
|---------------------------------------|------------------------------|
| 2.16 Ensemble | RMSE (Test): 0.024451 |
| Last change: Boosted Trees | 5/5 features |
| 2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.024411 |
| Last change: Bagged Trees | 5/5 features |
| 2.18 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.030549 |
| Last change: Squared Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.19 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.030577 |
| Last change: Matern 5/2 GPR | 5/5 features |
| 2.20 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.029519 |
| Last change: Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.21 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.027389 |
| Last change: Rational Quadratic GPR | 5/5 features |
| 2.22 Neural Network | RMSE (Test): 0.60491 |
| Last change: Narrow Neural Network | 5/5 features |
| 2.23 Neural Network | RMSE (Test): 0.90499 |
| Last change: Medium Neural Network | 5/5 features |
| 2.24 Neural Network | RMSE (Test): 1.7767 |
| Last change: Wide Neural Network | 5/5 features |
| 2.25 Neural Network | RMSE (Test): 0.27360 |
| Last change: Bilayered Neural Network | 5/5 features |

Model 2.17: Ensemble
Status: Tested

Training Results

- RMSE (Validation) 0.020206
- R-Squared (Validation) 0.42
- MSE (Validation) 0.00040827
- MAE (Validation) 0.013287
- MAPE (Validation) 385.1%
- Prediction speed ~2700 obs/sec
- Training time 3.932 sec
- Model size (Compact) ~233 kB

Test Results

- RMSE (Test) 0.024411
- R-Squared (Test) -0.00
- MSE (Test) 0.00059592
- MAE (Test) 0.020490
- MAPE (Test) 166.0%

Model Hyperparameters

- Preset: Bagged Trees
- Minimum leaf size: 8
- Number of learners: 30
- Number of predictors to sample: Select All

► Feature Selection: 5/5 individual features selected
► PCA: Disabled
► Optimizer: Not applicable

TABLA 23 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS CONOS

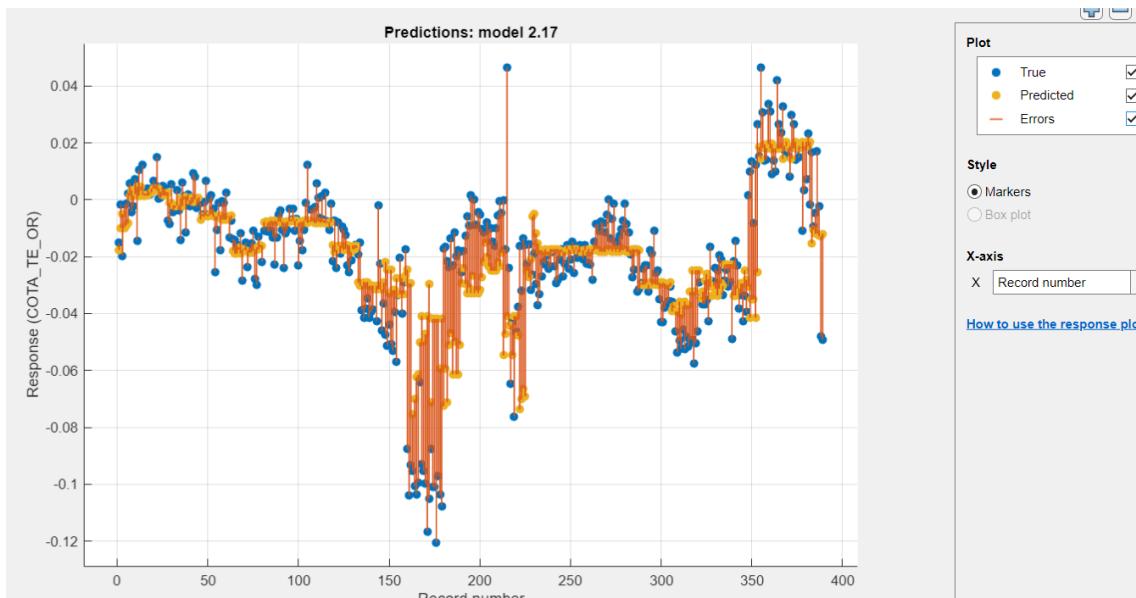


ILUSTRACIÓN 47 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICCIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS AROS

ENTRENO Y TESTEO POR SEMANA Y POR DÍAS

ENTRENAMIENTO DEL 3 AL 9 Y TEST DEL 10 AL 16 (1 SEMANA)

| Last change: Medium Gaussian SVM | | 5/5 features |
|---|--|-----------------------|
| 2.13 SVM | | RMSE (Test): 0.027842 |
| Last change: Coarse Gaussian SVM | | 5/5 features |
| 2.14 Efficient Linear | | RMSE (Test): 0.027464 |
| Last change: Efficient Linear Least Squares | | 5/5 features |
| 2.15 Efficient Linear | | RMSE (Test): 0.027289 |
| Last change: Efficient Linear SVM | | 5/5 features |
| 2.16 Ensemble | | RMSE (Test): 0.041738 |
| Last change: Boosted Trees | | 5/5 features |
| 2.17 Ensemble | | RMSE (Test): 0.043278 |
| Last change: Bagged Trees | | 5/5 features |
| 2.18 Gaussian Process Regression | | RMSE (Test): 0.027096 |
| Last change: Squared Exponential GPR | | 5/5 features |
| 2.19 Gaussian Process Regression | | RMSE (Test): 0.027182 |
| Last change: Matern 5/2 GPR | | 5/5 features |
| 2.20 Gaussian Process Regression | | RMSE (Test): 0.027255 |
| Last change: Exponential GPR | | 5/5 features |
| 2.21 Gaussian Process Regression | | RMSE (Test): 0.026022 |
| Last change: Rational Quadratic GPR | | 5/5 features |

Model 2.21: Gaussian Process Regression
Status: Tested

Training Results

| | |
|------------------------|---------------|
| RMSE (Validation) | 0.016572 |
| R-Squared (Validation) | 0.62 |
| MSE (Validation) | 0.00027462 |
| MAE (Validation) | 0.011481 |
| MAPE (Validation) | 197.6% |
| Prediction speed | -5600 obs/sec |
| Training time | 1022.3 sec |
| Model size (Compact) | -235 kB |

Test Results

| | |
|------------------|------------|
| RMSE (Test) | 0.026022 |
| R-Squared (Test) | 0.04 |
| MSE (Test) | 0.00067713 |
| MAE (Test) | 0.019647 |
| MAPE (Test) | 298.3% |

▶ Model Hyperparameters
 ▶ Feature Selection: 5/5 individual features selected
 ▶ PCA: Disabled
 ▶ Optimizer: Not applicable

TABLA 24 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS AROS

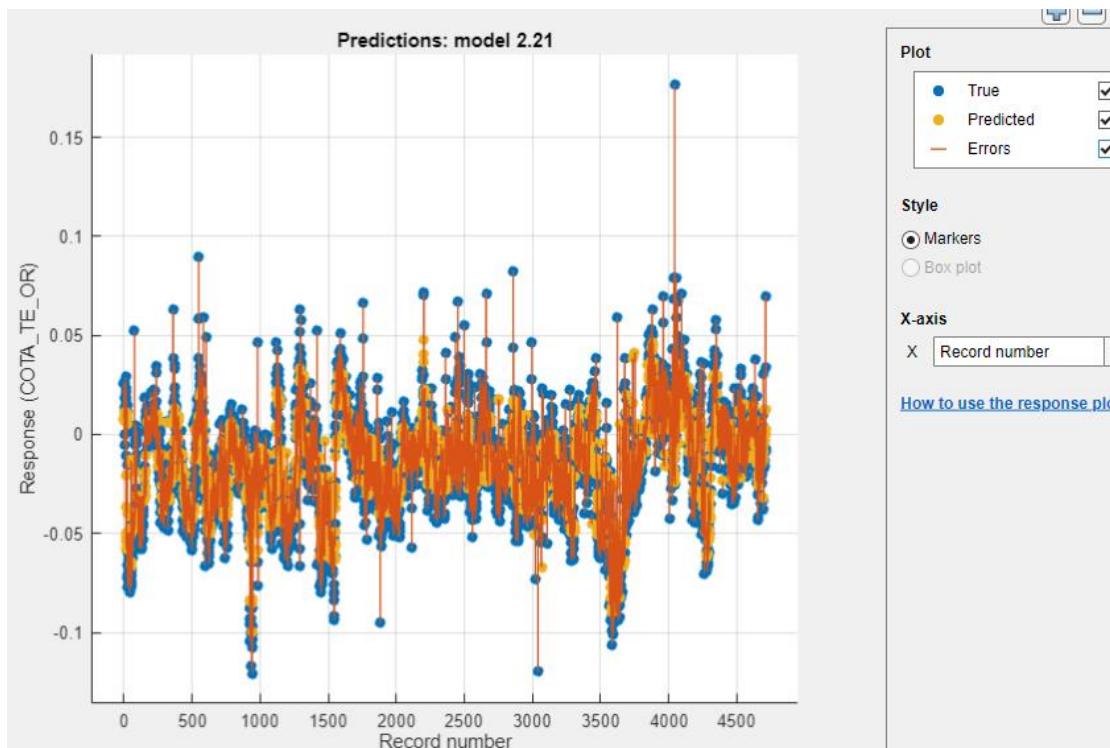


ILUSTRACIÓN 48 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS AROS

ENTRENAMIENTO DEL 3 AL 16 Y TEST DEL 16 AL 30 (2 SEMANAS)

| | |
|---|-----------------------|
| Last change: Medium Gaussian SVM | 5/5 features |
| 2.13 SVM | RMSE (Test): 0.031767 |
| Last change: Coarse Gaussian SVM | 5/5 features |
| 2.14 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.027360 |
| Last change: Efficient Linear Least Squares | 5/5 features |
| 2.15 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.027379 |
| Last change: Efficient Linear SVM | 5/5 features |
| 2.16 Ensemble | RMSE (Test): 0.026669 |
| Last change: Boosted Trees | 5/5 features |
| 2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.025930 |
| Last change: Bagged Trees | 5/5 features |
| 2.18 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.027287 |
| Last change: Squared Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.19 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.026270 |
| Last change: Matern 5/2 GPR | 5/5 features |
| 2.20 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.026317 |
| Last change: Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.21 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.025766 |
| Last change: Rational Quadratic GPR | 5/5 features |
| 2.22 Neural Network | RMSE (Test): 0.11181 |
| Last change: Narrow Neural Network | 5/5 features |
| 2.23 Neural Network | RMSE (Test): 0.065411 |
| Last change: Medium Neural Network | 5/5 features |

Model 2.21: Gaussian Process Regression

Status: Tested

Training Results

| | |
|------------------------|---------------|
| RMSE (Validation) | 0.017236 |
| R-Squared (Validation) | 0.59 |
| MSE (Validation) | 0.00029708 |
| MAE (Validation) | 0.011787 |
| MAPE (Validation) | 229.8% |
| Prediction speed | ~2700 obs/sec |
| Training time | 1140.3 sec |
| Model size (Compact) | ~381 KB |

Test Results

| | |
|------------------|------------|
| RMSE (Test) | 0.025766 |
| R-Squared (Test) | -0.01 |
| MSE (Test) | 0.00066390 |
| MAE (Test) | 0.019929 |
| MAPE (Test) | 243.7% |

Model Hyperparameters

- Preset: Rational Quadratic GPR
- Basis function: Constant
- Kernel function: Rational Quadratic
- Use isotropic kernel: Yes
- Kernel scale: Automatic
- Signal standard deviation: Automatic
- Sigma: Automatic
- Standardize data: Yes
- Optimize numeric parameters: Yes

▶ Feature Selection: 5/5 individual features selected

▶ PCA: Disabled

▶ Optimizer: Not applicable

TABLA 25 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS AROS

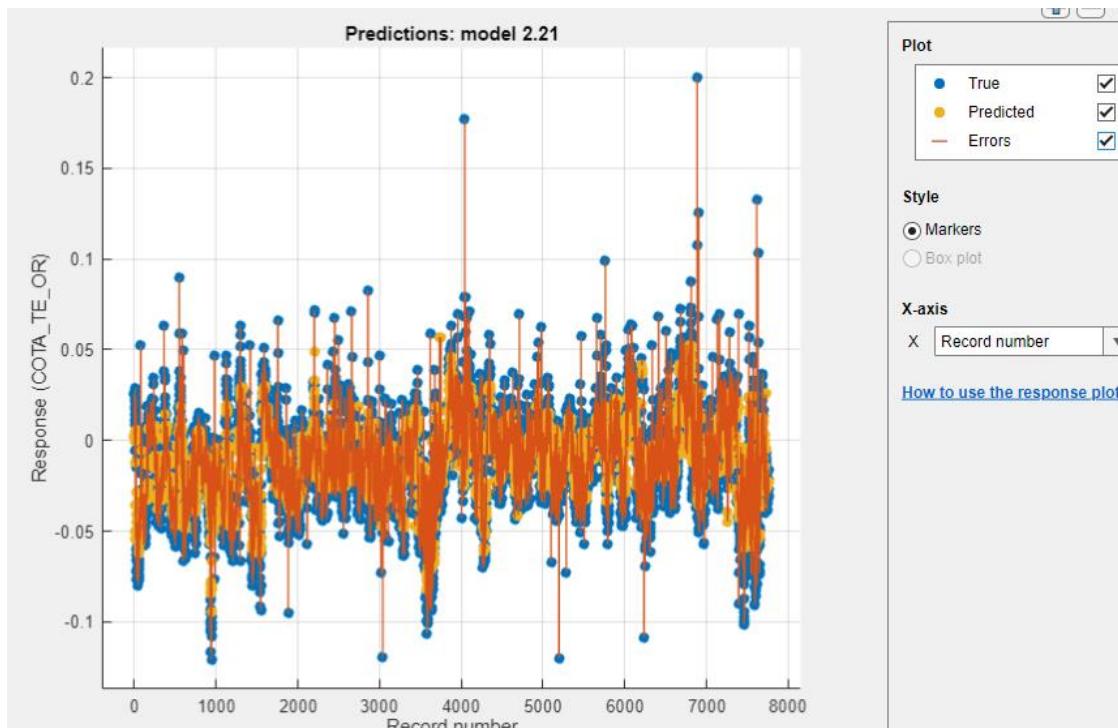


ILUSTRACIÓN 49 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS AROS

Sort by Model Number ▾

Last change: Medium Gaussian SVM 5/5 features

- ★ 2.13 SVM RMSE (Test): 0.049048
- Last change: Coarse Gaussian SVM 5/5 features
- ★ 2.14 Efficient Linear RMSE (Test): 0.026767
- Last change: Efficient Linear Least Squares 5/5 fea
- ★ 2.15 Efficient Linear RMSE (Test): 0.026726
- Last change: Efficient Linear SVM 5/5 features
- ★ 2.16 Ensemble RMSE (Test): 0.029878
- Last change: Boosted Trees 5/5 features
- ★ 2.17 Ensemble RMSE (Test): 0.031122
- Last change: Bagged Trees 5/5 features
- ★ 2.18 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.027410
- Last change: Squared Exponential GPR 5/5 feature
- ★ 2.19 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.027015
- Last change: Matern 5/2 GPR 5/5 features
- ★ 2.20 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.026677
- Last change: Exponential GPR 5/5 features
- ★ 2.21 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.026476
- Last change: Rational Quadratic GPR 5/5 features
- ★ 2.22 Neural Network RMSE (Test): 0.86862
- Last change: Narrow Neural Network 5/5 features
- ★ 2.23 Neural Network RMSE (Test): 0.39321
- Last change: Medium Neural Network 5/5 features

Summary X

Model 2.21: Gaussian Process Regression
Status: Tested

Training Results

| | |
|------------------------|----------------|
| RMSE (Validation) | 0.015786 |
| R-Squared (Validation) | 0.61 |
| MSE (Validation) | 0.00024921 |
| MAE (Validation) | 0.011142 |
| MAPE (Validation) | 176.8% |
| Prediction speed | ~15000 obs/sec |
| Training time | 53.407 sec |
| Model size (Compact) | ~54 kB |

Test Results

| | |
|------------------|------------|
| RMSE (Test) | 0.026476 |
| R-Squared (Test) | 0.01 |
| MSE (Test) | 0.00070098 |
| MAE (Test) | 0.020620 |
| MAPE (Test) | 471.1% |

Model Hyperparameters

Preset: Rational Quadratic GPR
Basis function: Constant
Kernel function: Rational Quadratic
Use isotropic kernel: Yes
Kernel scale: Automatic
Signal standard deviation: Automatic
Sigma: Automatic
Standardize data: Yes
Optimize numeric parameters: Yes

► Feature Selection: 5/5 individual features selected
► PCA: Disabled
► Optimizer: Not applicable

TABLA 26 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS AROS

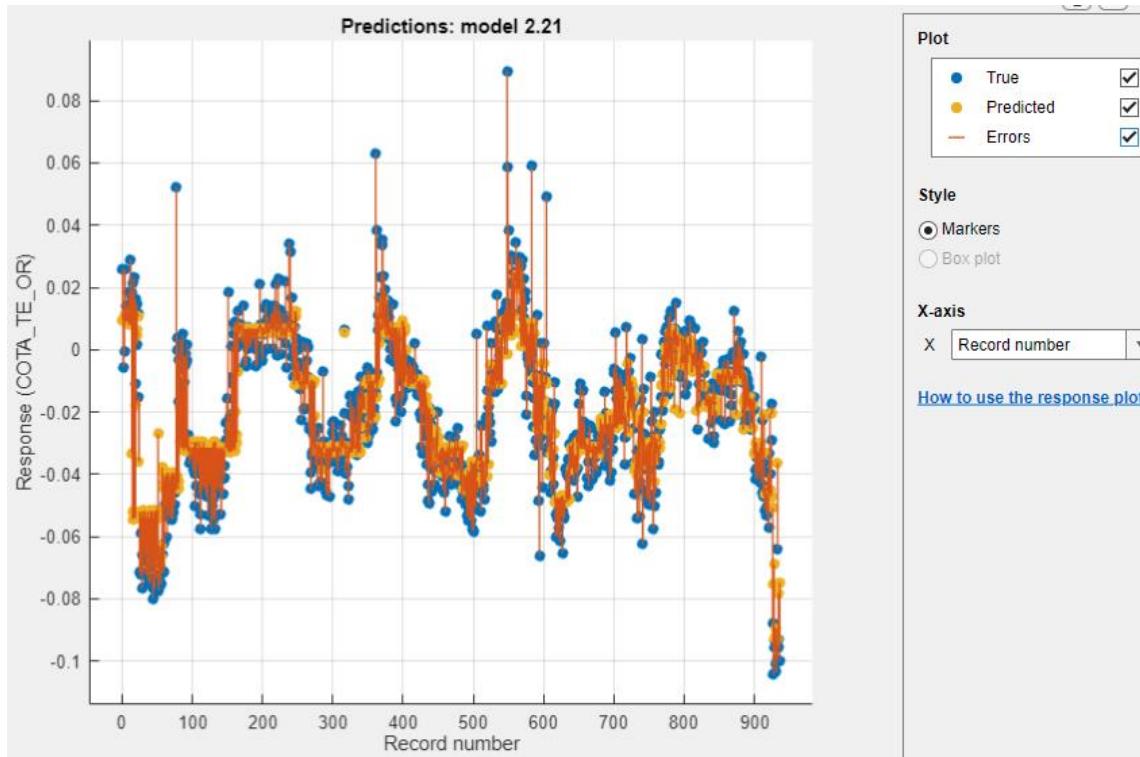


ILUSTRACIÓN 50 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICCIÓNES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS AROS

ENTRENAMIENTO DÍAS 3,4,5 TEST DÍAS 9,10,11

| Model Number | Model Type | RMSE (Test) | Last change | Features |
|--------------|----------------------------|-------------|---------------------|--------------|
| 2.2 | Linear Regression | 0.025619 | Interactions Linear | 5/5 features |
| 2.3 | Linear Regression | 0.031612 | Robust Linear | 5/5 features |
| 2.4 | Stepwise Linear Regression | 0.027989 | Stepwise Linear | 5/5 features |
| 2.5 | Tree | 0.023425 | Fine Tree | 5/5 features |
| 2.6 | Tree | 0.020840 | Medium Tree | 5/5 features |
| 2.7 | Tree | 0.020252 | Coarse Tree | 5/5 features |
| 2.8 | SVM | 0.031896 | Linear SVM | 5/5 features |
| 2.9 | SVM | 0.023475 | Quadratic SVM | 5/5 features |
| 2.10 | SVM | 1.9398 | Cubic SVM | 5/5 features |

Summary

Model 2.6: Tree
Status: Tested

Training Results

- RMSE (Validation): 0.017133
- R-Squared (Validation): 0.50
- MSE (Validation): 0.00029353
- MAE (Validation): 0.012189
- MAPE (Validation): 238.0%
- Prediction speed: ~39000 obs/sec
- Training time: 8.4637 sec
- Model size (Compact): ~29 kB

Test Results

- RMSE (Test): 0.020840
- R-Squared (Test): 0.08
- MSE (Test): 0.00043429
- MAE (Test): 0.016289
- MAPE (Test): 251.3%

Model Hyperparameters

- Preset: Medium Tree
- Minimum leaf size: 12
- Surrogate decision splits: Off

Feature Selection: 5/5 individual features selected

PCA: Disabled

Optimizer: Not applicable

TABLA 27 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS AROS

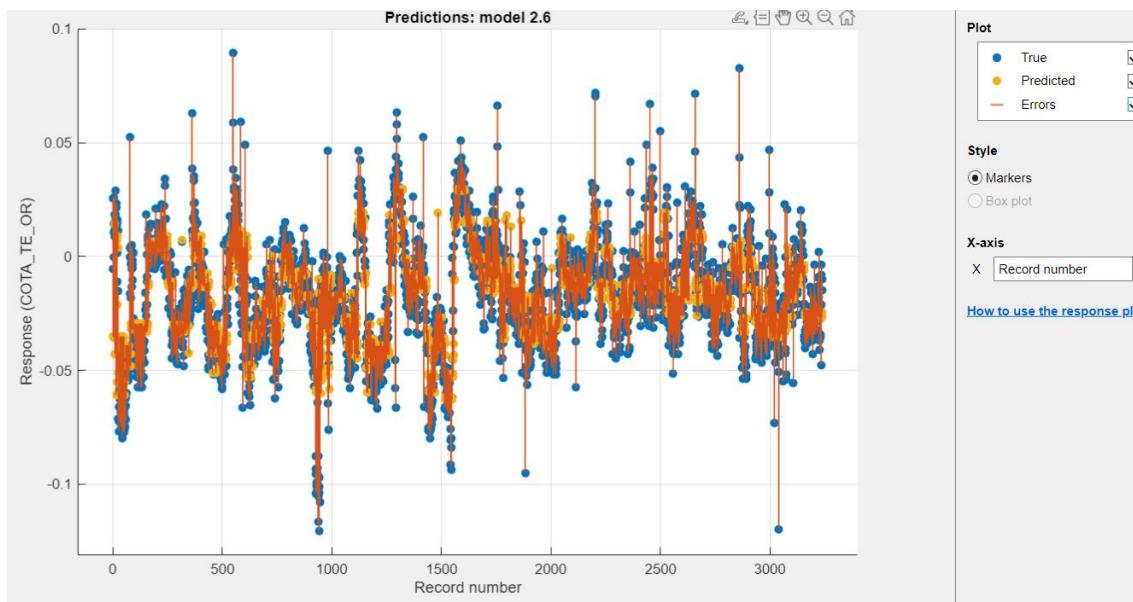


ILUSTRACIÓN 51 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICCIÓNES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS AROS

ENTRENAMIENTO DEL 10 AL 16 Y TEST DEL 19 AL 25

| | |
|---|-----------------------|
| Last change: Medium Gaussian SVM | 5/5 features |
| 2.13 SVM | RMSE (Test): 0.041166 |
| Last change: Coarse Gaussian SVM | 5/5 features |
| 2.14 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.023593 |
| Last change: Efficient Linear Least Squares | 5/5 features |
| 2.15 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.023860 |
| Last change: Efficient Linear SVM | 5/5 features |
| 2.16 Ensemble | RMSE (Test): 0.024554 |
| Last change: Boosted Trees | 5/5 features |
| 2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.023805 |
| Last change: Bagged Trees | 5/5 features |
| 2.18 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.024809 |
| Last change: Squared Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.19 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.023918 |
| Last change: Matern 5/2 GPR | 5/5 features |
| 2.20 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.022559 |
| Last change: Exponential GPR | 5/5 features |
| 2.21 Gaussian Process Regression | RMSE (Test): 0.022404 |
| Last change: Rational Quadratic GPR | 5/5 features |
| 2.22 Neural Network | RMSE (Test): 0.042918 |
| Last change: Narrow Neural Network | 5/5 features |
| 2.23 Neural Network | RMSE (Test): 0.082973 |
| Last change: Medium Neural Network | 5/5 features |

Model 2.21: Gaussian Process Regression
Status: Tested

Training Results

- RMSE (Validation) 0.017791
- R-Squared (Validation) 0.54
- MSE (Validation) 0.00031654
- MAE (Validation) 0.011924
- MAPE (Validation) 276.7%
- Prediction speed ~9600 obs/sec
- Training time 569.49 sec
- Model size (Compact) ~155 kB

Test Results

- RMSE (Test) 0.022404
- R-Squared (Test) 0.03
- MSE (Test) 0.00050192
- MAE (Test) 0.017188
- MAPE (Test) 196.0%

Model Hyperparameters

- Preset: Rational Quadratic GPR
- Basis function: Constant
- Kernel function: Rational Quadratic
- Use isotropic kernel: Yes
- Kernel scale: Automatic
- Signal standard deviation: Automatic
- Sigma: Automatic
- Standardize data: Yes
- Optimize numeric parameters: Yes

► Feature Selection: 5/5 individual features selected

► PCA: Disabled

► Optimizer: Not applicable

TABLA 28 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS AROS

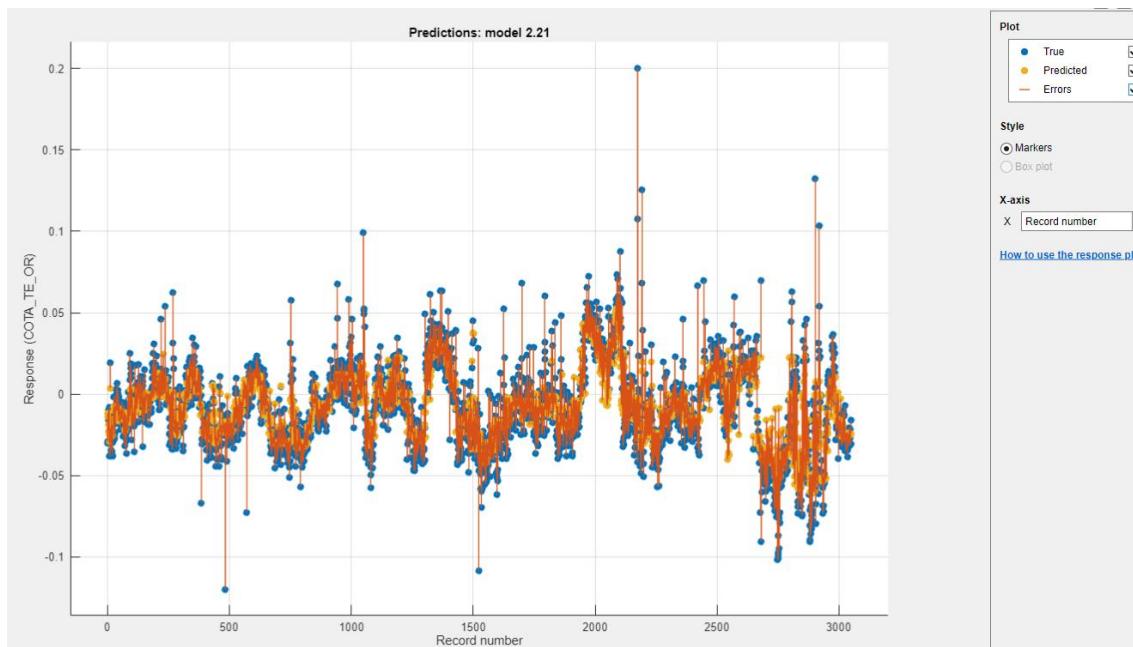


ILUSTRACIÓN 52 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICCIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS AROS

ENTRENAMIENTO DIAS 19,20,21 Y TESTEO DÍAS 22,23,24

| | | |
|--|-------------------------|--|
| 2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.040842 | Model 2.21: Gaussian Process Regression |
| Last change: Bagged Trees | 5/5 features | Status: Tested |
| 2.18 Gaussian Pr... | RMSE (Test): 0.026271 | Training Results |
| Last change: Squared Exponential GPR | 5/5 feature | RMSE (Validation) 0.016533 R-Squared (Validation) 0.45 MSE (Validation) 0.00027335 MAE (Validation) 0.012016 MAPE (Validation) 229.1% Prediction speed ~9400 obs/sec Training time 207.98 sec Model size (Compact) ~80 kB |
| 2.19 Gaussian Pr... | RMSE (Test): 0.025157 | Test Results |
| Last change: Matern 5/2 GPR | 5/5 features | RMSE (Test) 0.025465 R-Squared (Test) -0.10 MSE (Test) 0.00064846 MAE (Test) 0.020110 MAPE (Test) 208.3% |
| 2.20 Gaussian Pr... | RMSE (Test): 0.026877 | Model Hyperparameters |
| Last change: Exponential GPR | 5/5 features | Preset: Rational Quadratic GPR Basis function: Constant Kernel function: Rational Quadratic Use isotropic kernel: Yes Kernel scale: Automatic Signal standard deviation: Automatic Sigma: Automatic Standardize data: Yes Optimize numeric parameters: Yes |
| 2.21 Gaussian Pr... | RMSE (Test): 0.025465 | Feature Selection: 5/5 individual features selected |
| Last change: Rational Quadratic GPR | 5/5 features | ▶ PCA: Disabled |
| 2.22 Neural Net... | RMSE (Test): 1.5033e+12 | ▶ Optimizer: Not applicable |
| Last change: Narrow Neural Network | 5/5 features | |
| 2.23 Neural Net... | RMSE (Test): 2.2424e+11 | |
| Last change: Medium Neural Network | 5/5 features | |
| 2.24 Neural Net... | RMSE (Test): 1.2017e+12 | |
| Last change: Wide Neural Network | 5/5 features | |
| 2.25 Neural Net... | RMSE (Test): 2.4507e+11 | |
| Last change: Bilayered Neural Network | 5/5 features | |
| 2.26 Neural Net... | RMSE (Test): 1.0810e+11 | |
| Last change: Trilayered Neural Network | 5/5 feature | |
| 2.27 Kernel | RMSE (Test): 0.030552 | |
| Last change: SVM Kernel | 5/5 features | |

TABLA 29 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS AROS

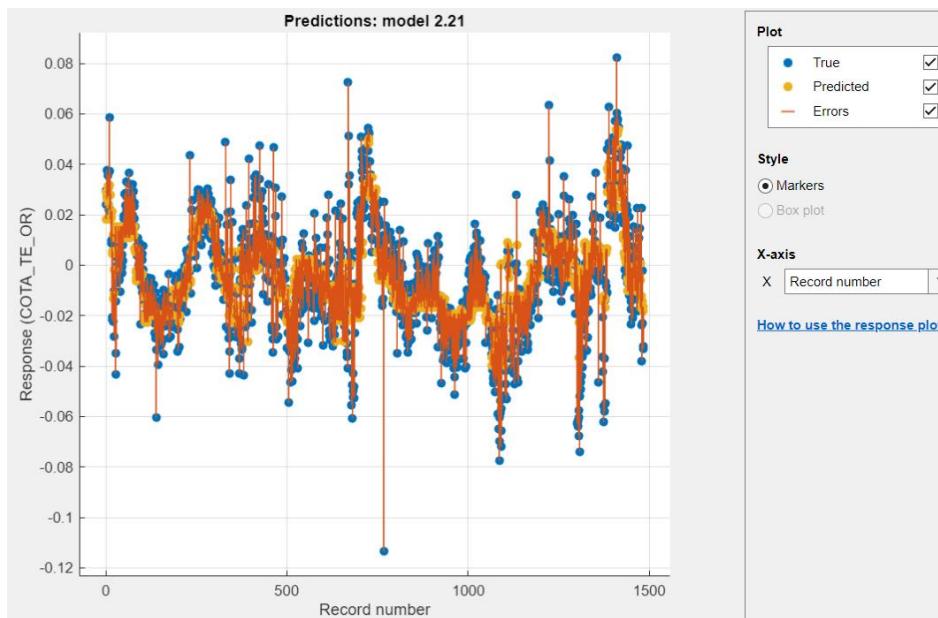


ILUSTRACIÓN 53 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICCIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS AROS

ENTRENO DÍA 4 Y TEST DÍA 5

| | |
|---|--|
| Last change: Medium Gaussian SVM 5/5 features | Model 2.19: Gaussian Process Regression Status: Tested |
| 2.13 SVM RMSE (Test): 0.052951 | Training Results RMSE (Validation) 0.016559 R-Squared (Validation) 0.61 MSE (Validation) 0.00027420 MAE (Validation) 0.011853 MAPE (Validation) 215.7% Prediction speed ~13000 obs/sec Training time 35.335 sec Model size (Compact) ~68 kB |
| Last change: Coarse Gaussian SVM 5/5 features | |
| 2.14 Efficient Linear RMSE (Test): 0.019490 | Test Results RMSE (Test) 0.018955 R-Squared (Test) 0.02 MSE (Test) 0.00035928 MAE (Test) 0.014650 MAPE (Test) 263.8% |
| Last change: Efficient Linear Least Squares 5/5 fea | |
| 2.15 Efficient Linear RMSE (Test): 0.019594 | Model Hyperparameters |
| Last change: Efficient Linear SVM 5/5 features | Preset: Matern 5/2 GPR Basis function: Constant Kernel function: Matern 5/2 Use isotropic kernel: Yes Kernel scale: Automatic Signal standard deviation: Automatic Sigma: Automatic Standardize data: Yes Optimize numeric parameters: Yes |
| 2.16 Ensemble RMSE (Test): 0.026388 | |
| Last change: Boosted Trees 5/5 features | Feature Selection: 5/5 individual features selected |
| 2.17 Ensemble RMSE (Test): 0.022325 | PCA: Disabled |
| Last change: Bagged Trees 5/5 features | Optimizer: Not applicable |
| 2.18 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.019017 | |
| Last change: Squared Exponential GPR 5/5 feature | |
| 2.19 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.018955 | |
| Last change: Matern 5/2 GPR 5/5 features | |
| 2.20 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.021778 | |
| Last change: Exponential GPR 5/5 features | |
| 2.21 Gaussian Pr... RMSE (Test): 0.021230 | |
| Last change: Rational Quadratic GPR 5/5 features | |
| 2.22 Neural Network RMSE (Test): 0.064527 | |
| Last change: Narrow Neural Network 5/5 features | |
| 2.23 Neural Network RMSE (Test): 0.19450 | |
| Last change: Medium Neural Network 5/5 features | |

TABLA 30 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS AROS

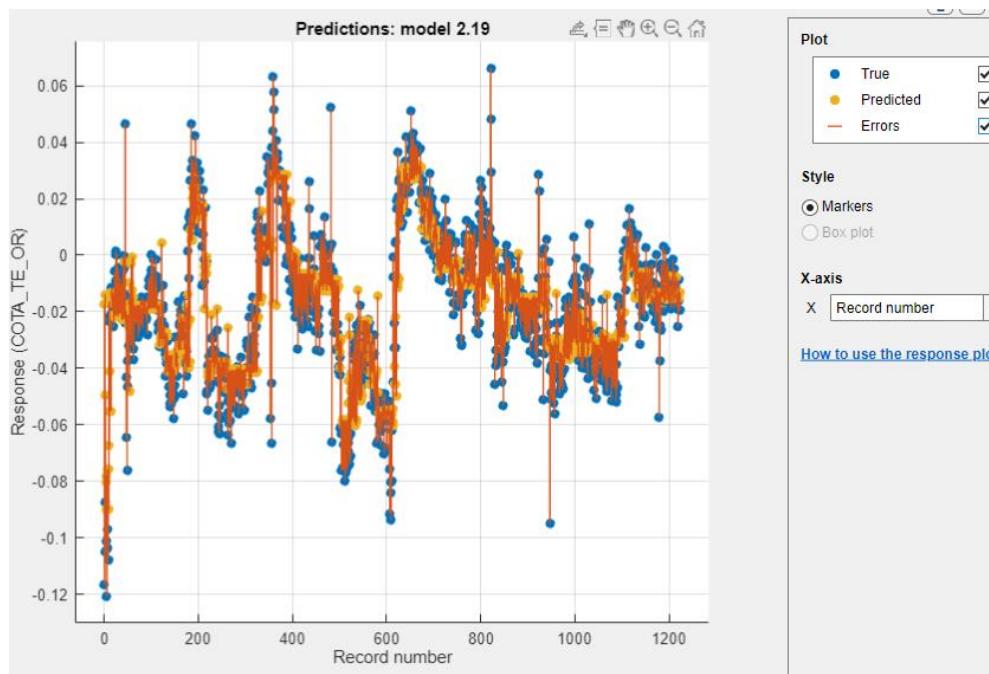


ILUSTRACIÓN 54 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICCIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS AROS

ENTRENAMIENTO DÍA 10 Y TESTEO DÍA 11

| | | |
|---|-----------------------|---|
| 2.8 SVM | RMSE (Test): 0.019281 | Model 2.13: SVM Status: Tested |
| Last change: Linear SVM | 5/5 features | |
| 2.9 SVM | RMSE (Test): 0.15958 | |
| Last change: Quadratic SVM | 5/5 features | |
| 2.10 SVM | RMSE (Test): 14.804 | |
| Last change: Cubic SVM | 5/5 features | |
| 2.11 SVM | RMSE (Test): 0.025078 | |
| Last change: Fine Gaussian SVM | 5/5 features | |
| 2.12 SVM | RMSE (Test): 0.030098 | Training Results RMSE (Validation) 0.013904 R-Squared (Validation) 0.39 MSE (Validation) 0.00019331 MAE (Validation) 0.010320 MAPE (Validation) 668.4% Prediction speed ~10000 obs/sec Training time 5.522 sec Model size (Compact) ~35 kB |
| Last change: Medium Gaussian SVM | 5/5 features | |
| 2.13 SVM | RMSE (Test): 0.019276 | Test Results RMSE (Test) 0.019276 R-Squared (Test) 0.34 MSE (Test) 0.00037158 MAE (Test) 0.014148 MAPE (Test) 221.1% |
| Last change: Coarse Gaussian SVM | 5/5 features | |
| 2.14 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.024694 | Model Hyperparameters Preset: Coarse Gaussian SVM Kernel function: Gaussian Kernel scale: 8.9 Box constraint: Automatic Epsilon: Auto Standardize data: Yes |
| Last change: Efficient Linear Least Squares | 5/5 features | |
| 2.15 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.024897 | |
| Last change: Efficient Linear SVM | 5/5 features | |
| 2.16 Ensemble | RMSE (Test): 0.022747 | |

TABLA 31 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS AROS

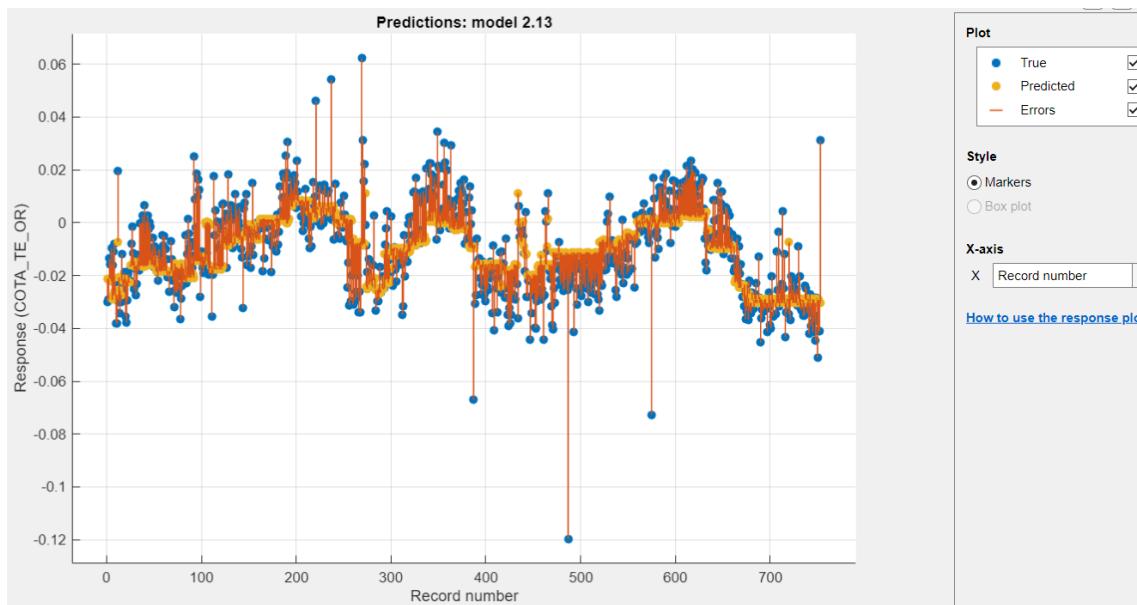


ILUSTRACIÓN 55 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICCIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS AROS

ENTRENAMIENTO DIA 3 Y TESTEO DIA 4

| | | |
|---|-----------------------|--|
| 2.9 SVM | RMSE (Test): 0.51825 | Model 2.11: SVM Status: Tested Training Results RMSE (Validation) 0.018437 R-Squared (Validation) 0.47 MSE (Validation) 0.00033994 MAE (Validation) 0.012529 MAPE (Validation) 205.6% Prediction speed ~25000 obs/sec Training time 1.2693 sec Model size (Compact) ~40 kB |
| Last change: Quadratic SVM | 5/5 features | |
| 2.10 SVM | RMSE (Test): 3.2144 | |
| Last change: Cubic SVM | 5/5 features | |
| 2.11 SVM | RMSE (Test): 0.026383 | |
| Last change: Fine Gaussian SVM | 5/5 features | |
| 2.12 SVM | RMSE (Test): 0.026991 | |
| Last change: Medium Gaussian SVM | 5/5 features | |
| 2.13 SVM | RMSE (Test): 0.049048 | |
| Last change: Coarse Gaussian SVM | 5/5 features | |
| 2.14 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.026767 | Test Results RMSE (Test) 0.026383 R-Squared (Test) 0.02 MSE (Test) 0.00069609 MAE (Test) 0.020625 MAPE (Test) 414.0% |
| Last change: Efficient Linear Least Squares | 5/5 fea | |
| 2.15 Efficient Linear | RMSE (Test): 0.026726 | |
| Last change: Efficient Linear SVM | 5/5 features | |
| 2.16 Ensemble | RMSE (Test): 0.029878 | |
| Last change: Boosted Trees | 5/5 features | Model Hyperparameters Preset: Fine Gaussian SVM Kernel function: Gaussian Kernel scale: 0.56 Box constraint: Automatic Epsilon: Auto Standardize data: Yes |
| 2.17 Ensemble | RMSE (Test): 0.031122 | |
| Last change: Bagged Trees | 5/5 features | |
| 2.18 Gaussian Pr... | RMSE (Test): 0.027410 | |
| Last change: Squared Exponential GPR | 5/5 feature | |

TABLA 32 MODELOS DE ENTRENAMIENTO DE LOS AROS

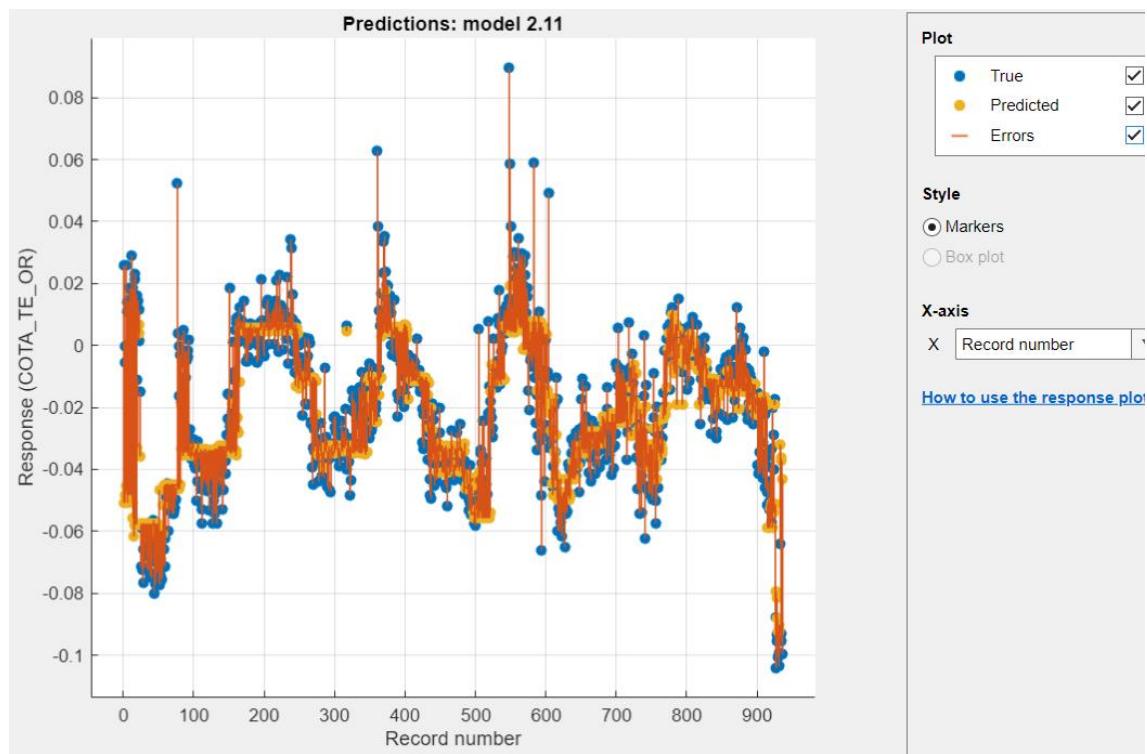


ILUSTRACIÓN 56 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS PREDICCIONES Y DE LOS RESULTADOS REALES EN LOS AROS

ANEXO 5 GEMELO DIGITAL

GD CON DATOS DE PARTIDA

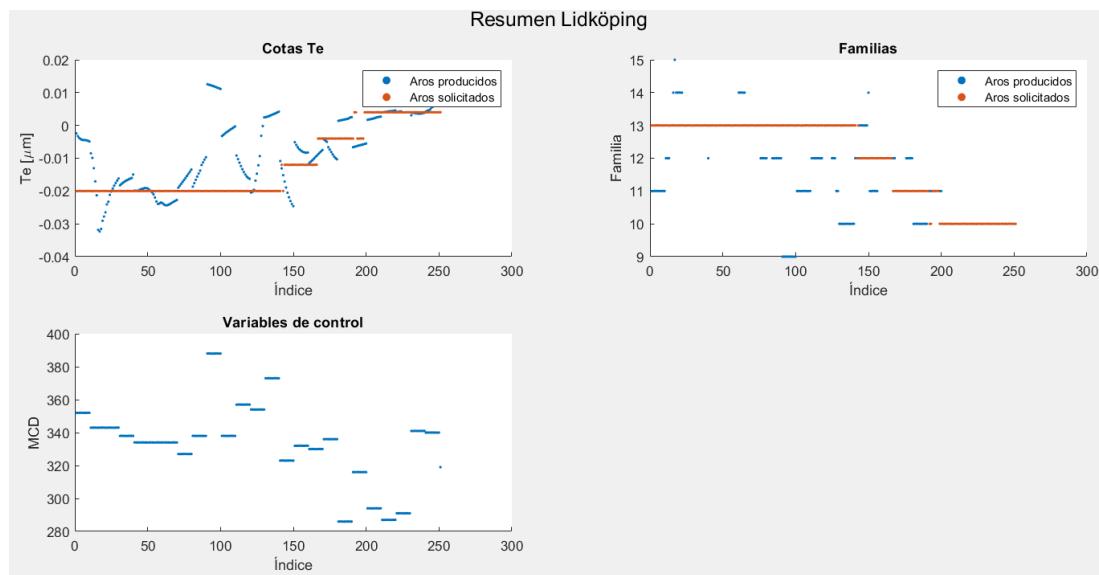
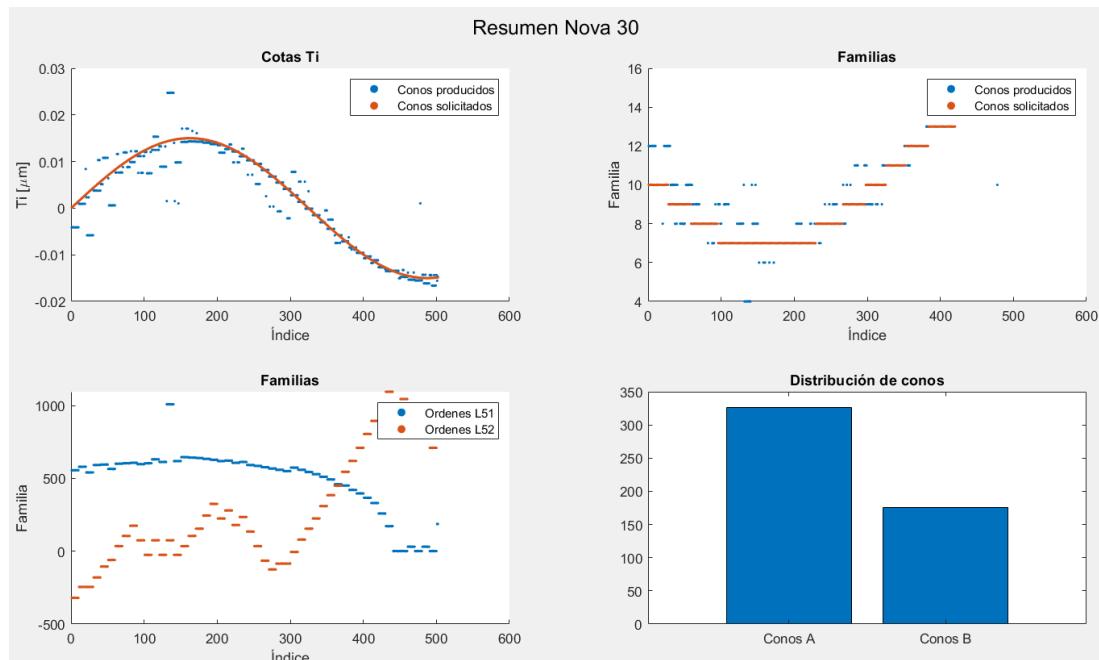
ESTRATEGIA DE EMPAREJADO

SOLO EMPAREJADO RECTO PERMITIDO

```
numero_factores_M06 = 7;
num_fact_conosA = 5;
num_fact_conosB = 5;
intervalo_ajuste_M06 = 10;
int_ajuste_M11 = 10;
distribuciones.usar_conos = 1;
distribuciones.distr_ini_cconoA = zeros(1,20);
distribuciones.distr_ini_cconoB = zeros(1,20);
distribuciones.usar_aros = 0;
distribuciones.distr_ini_aros = zeros(1,20);
patron_conos.A = 15;
patron_conos.T = 650;
estrategia_emparejado.recto = 1;
estrategia_emparejado.L = 0;
estrategia_emparejado.V = 0;

grabar_videos = 0;
mostrar_figuras = 1;
```

ILUSTRACIÓN 57 INFORMACIÓN GENERAL PARA EL GEMELO DIGITAL

**ILUSTRACIÓN 58 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN****ILUSTRACIÓN 59 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL**

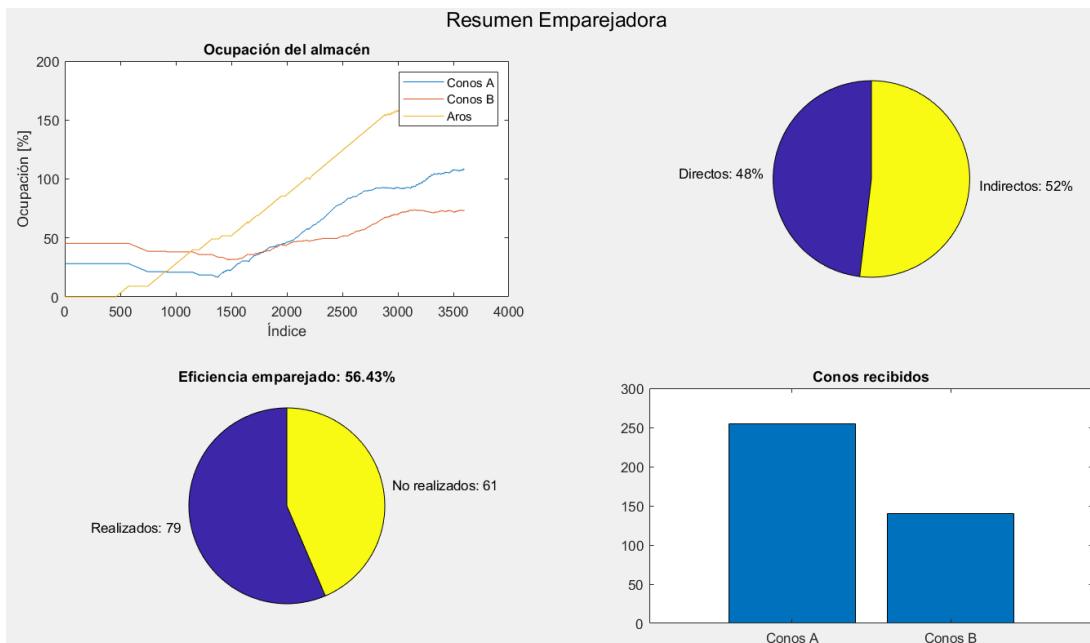


ILUSTRACIÓN 60 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN

EMPAREJADO RECTO Y EMPAREJADO EN L

```

numero_factores_M06 = 7;
num_fact_conosA = 5;
num_fact_conosB = 5;
intervalo_ajuste_M06 = 10;
int_ajuste_M11 = 10;
distribuciones.usar_conos = 1;
distribuciones.distr_ini_conoA = zeros(1,20);
distribuciones.distr_ini_conoB = zeros(1,20);
distribuciones.usar_aros = 0;
distribuciones.distr_ini_aros = zeros(1,20);
patron_conos.A = 15;
patron_conos.T = 650;
estrategia_emparejado.recto = 1;
estrategia_emparejado.L = 1;
estrategia_emparejado.V = 0;

grabar_videos = 0;
mostrar_figuras = 1;

```

ILUSTRACIÓN 61 INFORMACIÓN GENERAL PARA EL GEMELO DIGITAL

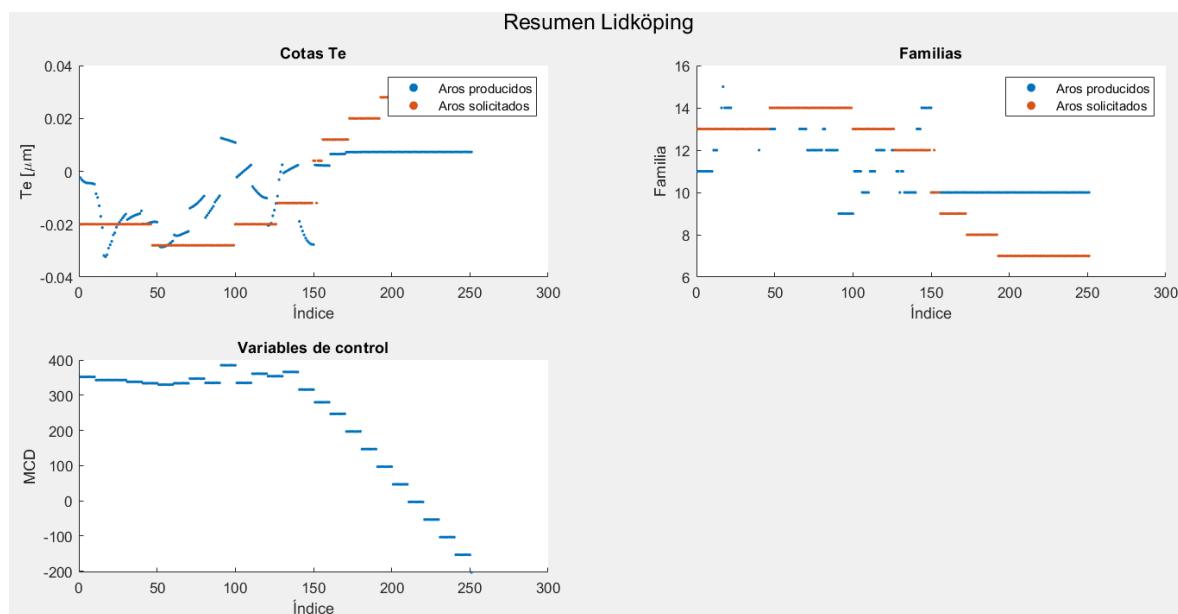
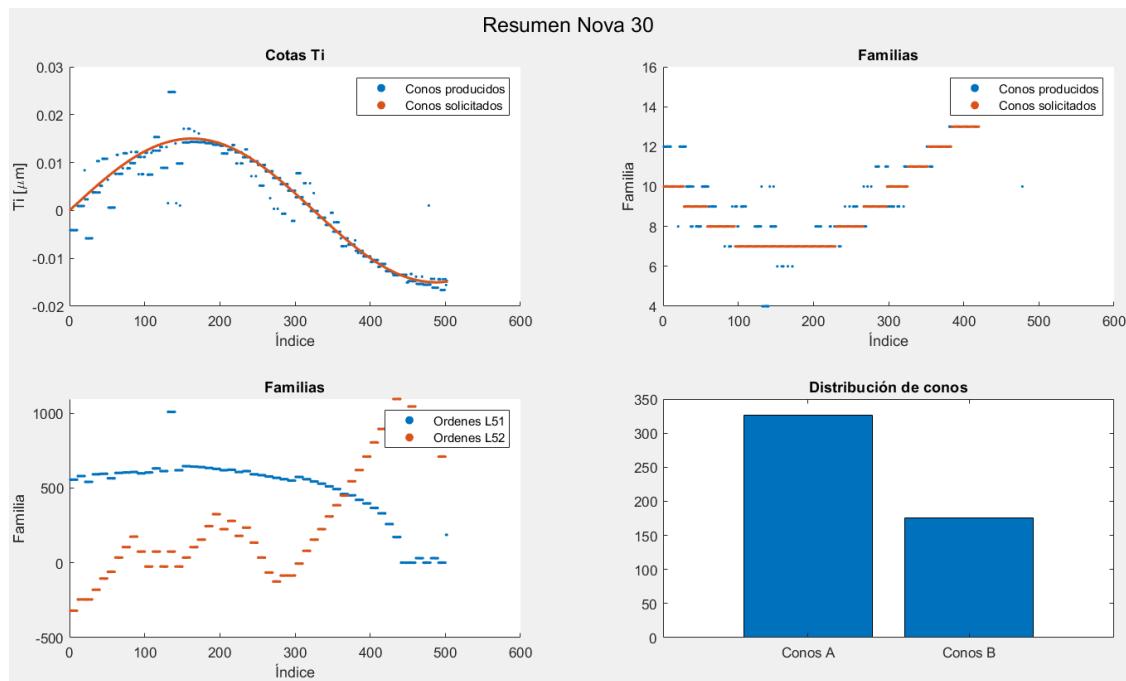
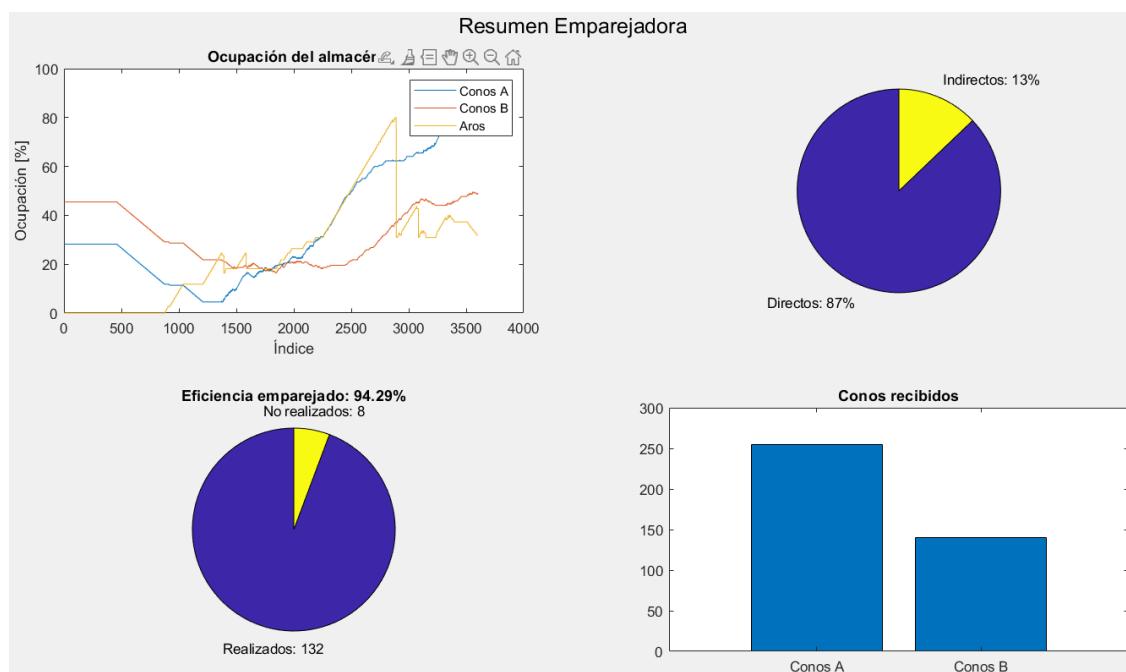


ILUSTRACIÓN 62 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN

**ILUSTRACIÓN 63 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 64 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN**

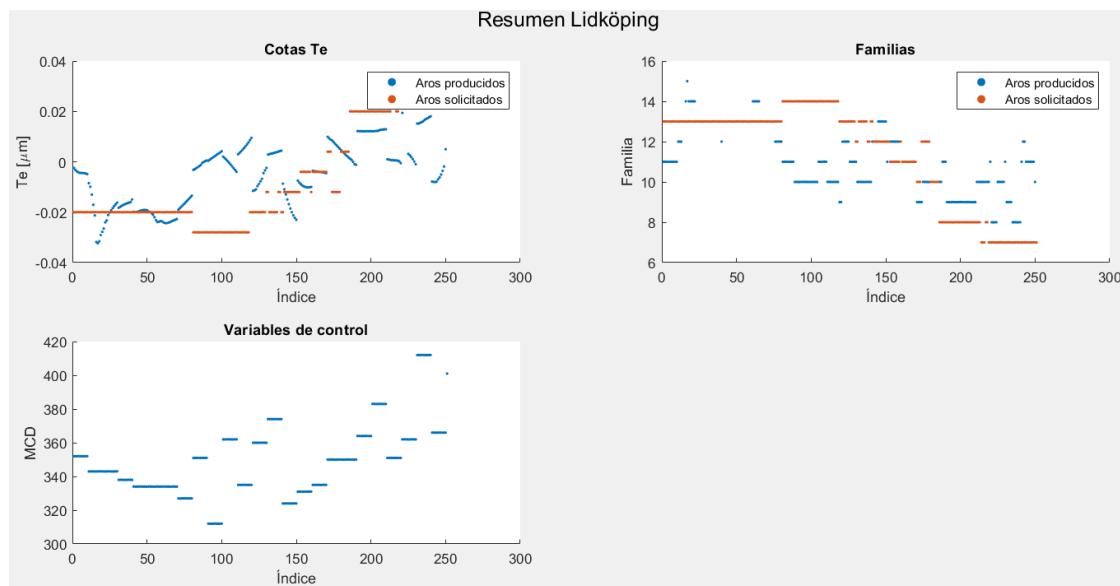
EMPAREJADO RECTO Y EN V

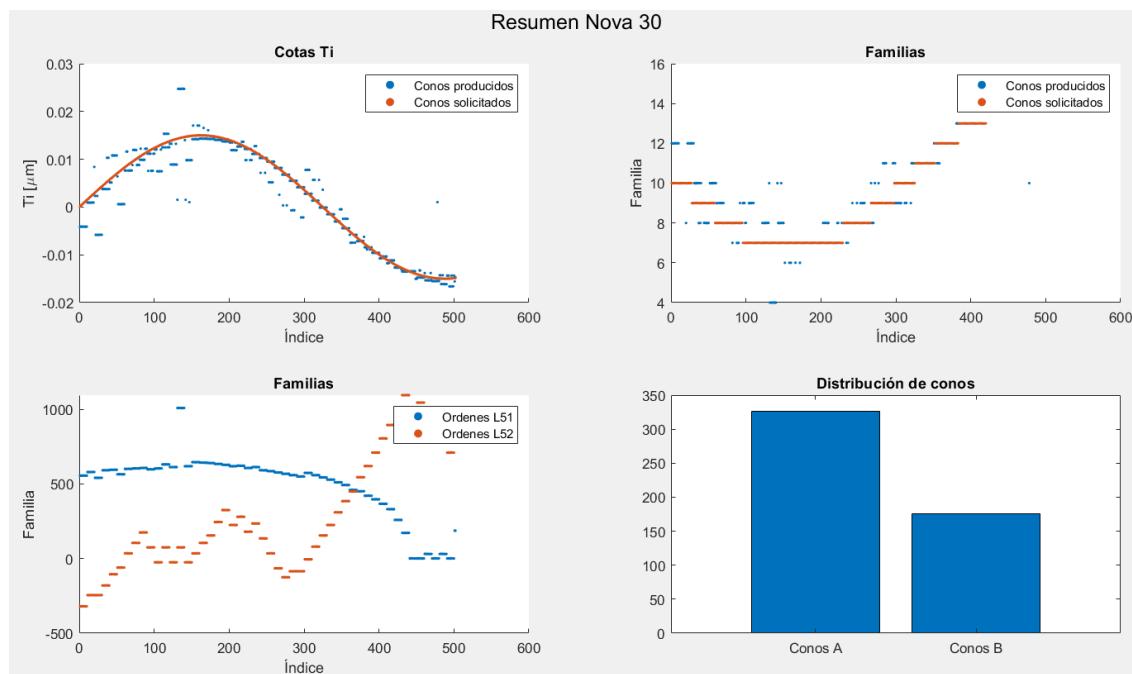
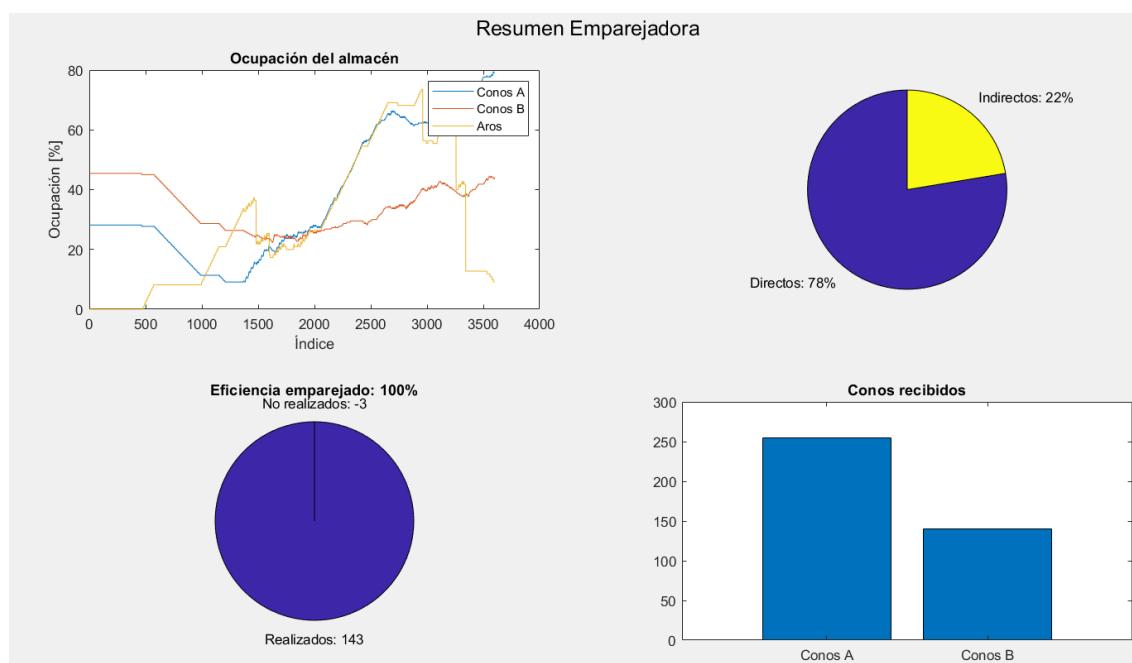
```

numero_factores_M06 = 7;
num_fact_conosA = 5;
num_fact_conosB = 5;
intervalo_ajuste_M06 = 10;
int_ajuste_M11 = 10;
distribuciones.usar_conos = 1;
distribuciones.distr_ini_conoA = zeros(1,20);
distribuciones.distr_ini_conoB = zeros(1,20);
distribuciones.usar_aros = 0;
distribuciones.distr_ini_aros = zeros(1,20);
patron_conos.A = 15;
patron_conos.T = 650;
estrategia_emparejado.recto = 1;
estrategia_emparejado.L = 0;
estrategia_emparejado.V = 1;

grabar_videos = 0;
mostrar_figuras = 1;

```

ILUSTRACIÓN 65 INFORMACIÓN GENERAL PARA EL GEMELO DIGITAL**ILUSTRACIÓN 66 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN**

**ILUSTRACIÓN 67 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 68 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN**

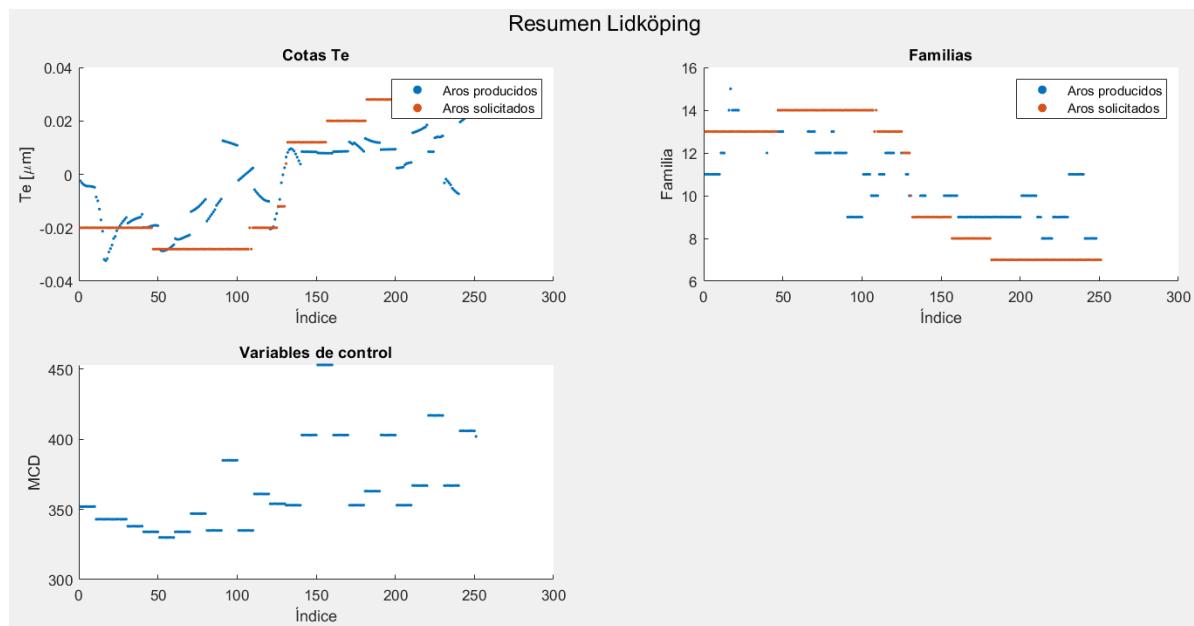
EMPAREJADO EN L Y EN V

```

numero_factores_M06 = 7;
num_fact_conosA = 5;
num_fact_conosB = 5;
intervalo_ajuste_M06 = 10;
int_ajuste_M11 = 10;
distribuciones.usar_conos = 1;
distribuciones.distr_ini_conoA = zeros(1,20);
distribuciones.distr_ini_conoB = zeros(1,20);
distribuciones.usar_aros = 0;
distribuciones.distr_ini_aros = zeros(1,20);
patron_conos.A = 15;
patron_conos.T = 650;
estrategia_emparejado.recto = 0;
estrategia_emparejado.L = 1;
estrategia_emparejado.V = 1;

grabar_videos = 0;
mostrar_figuras = 1;

```

ILUSTRACIÓN 69 INFORMACIÓN GENERAL PARA EL GEMELO DIGITAL**ILUSTRACIÓN 70 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN**

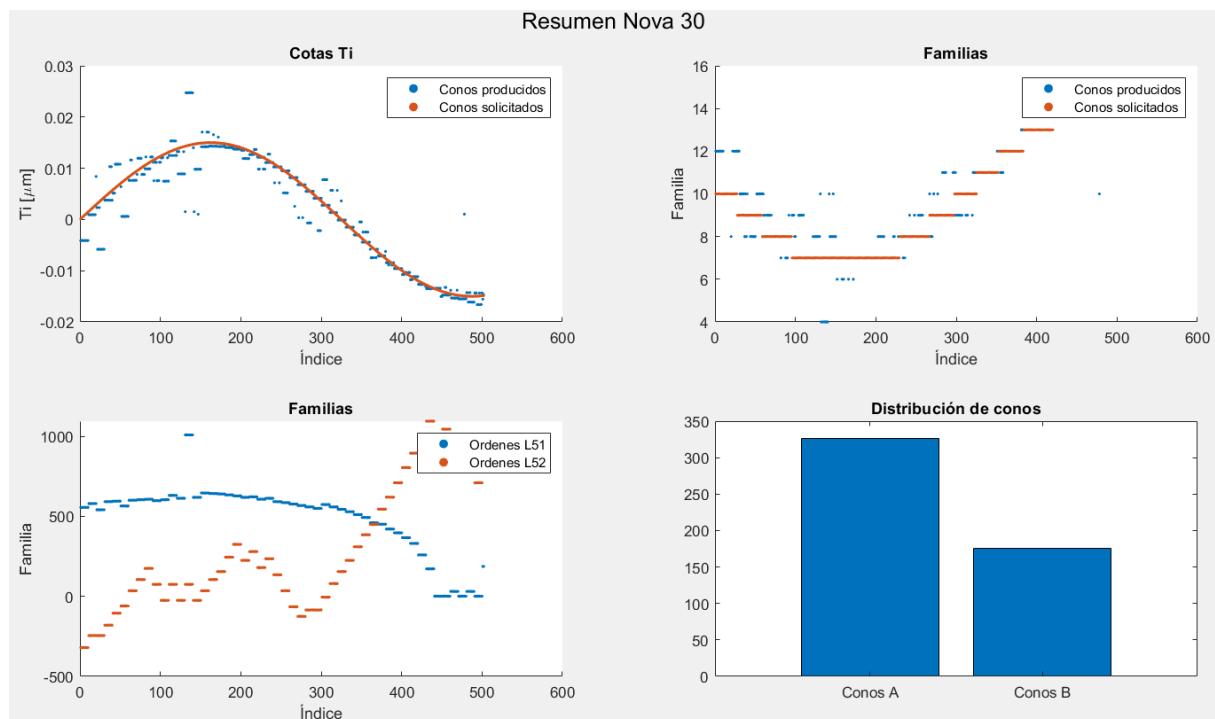


ILUSTRACIÓN 71 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL

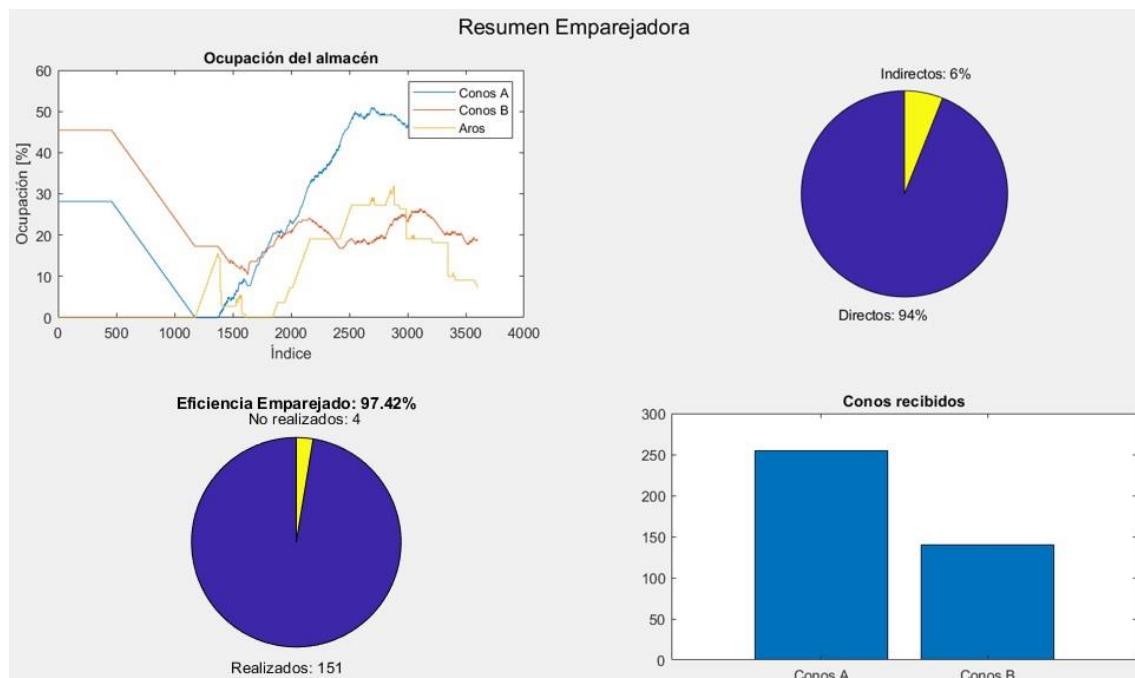


ILUSTRACIÓN 72 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN

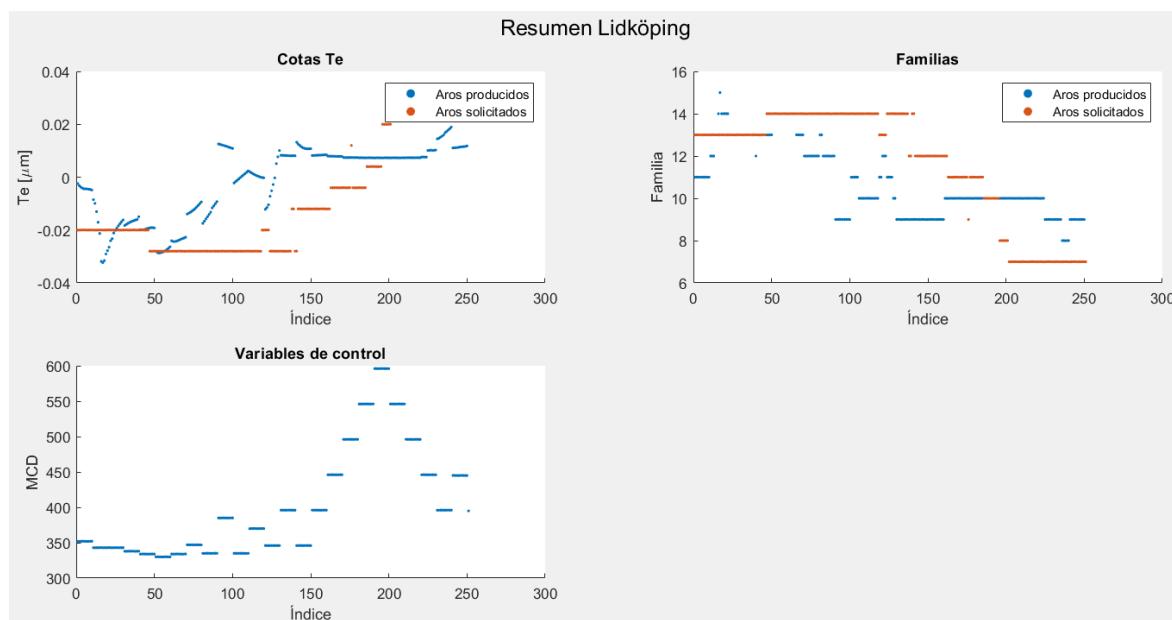
SOLO EMPAREJADO EN L

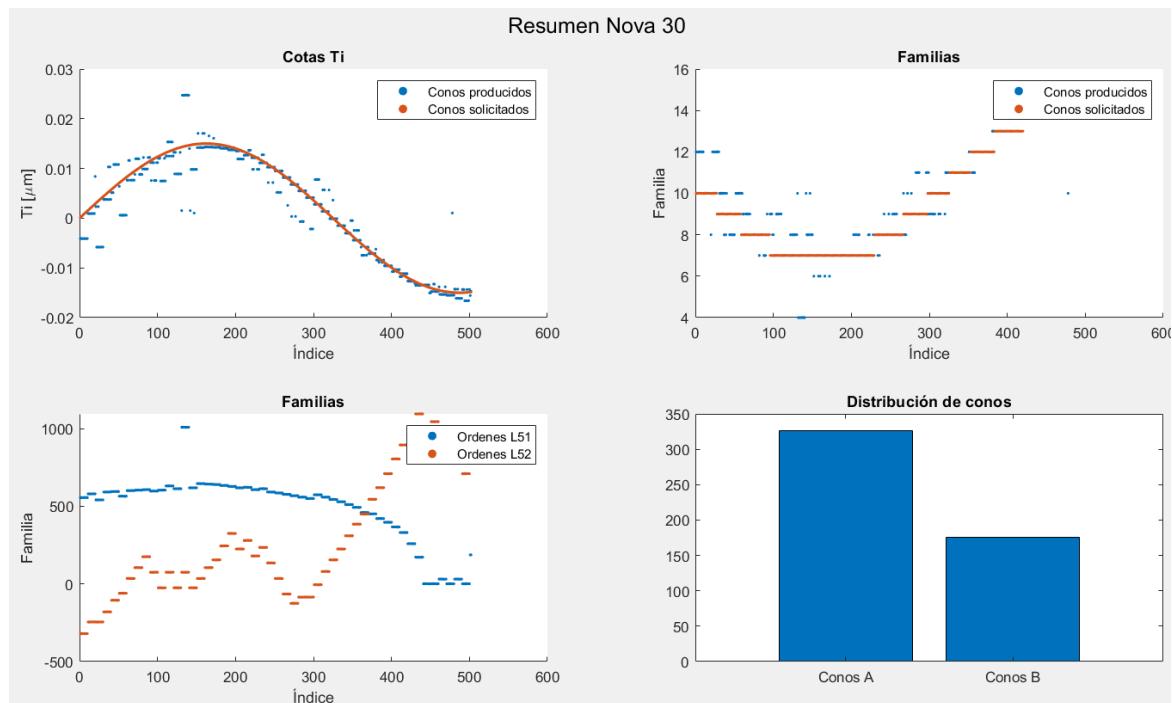
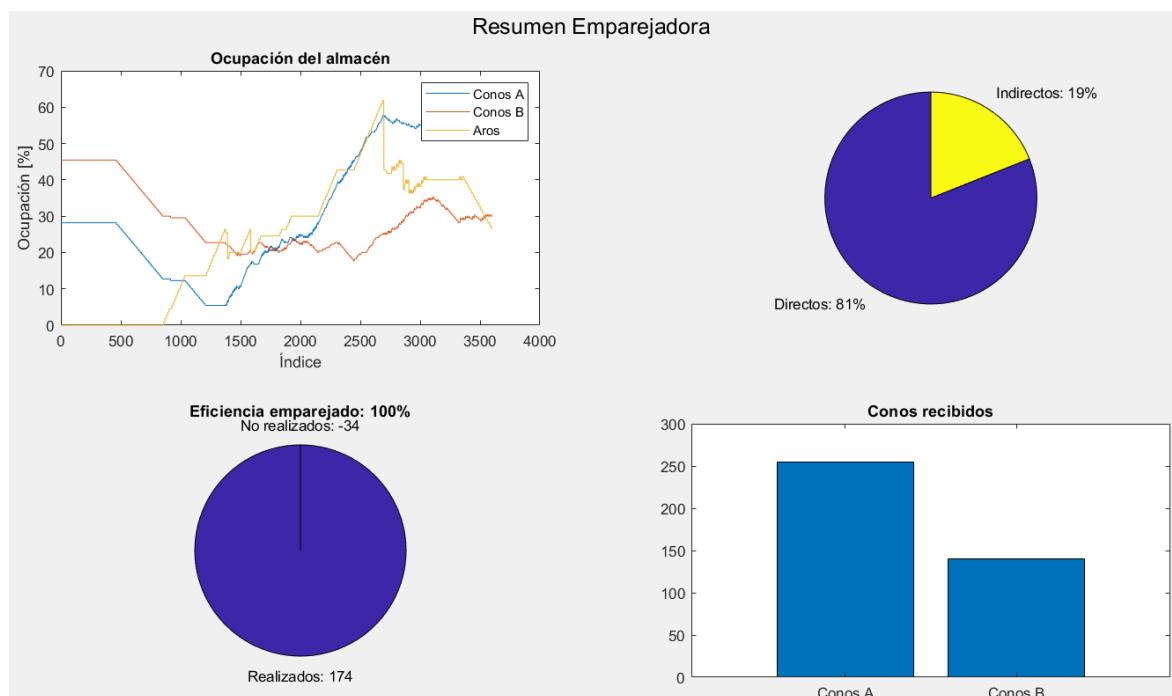
```

numero_factores_M06 = 7;
num_fact_conosA = 5;
num_fact_conosB = 5;
intervalo_ajuste_M06 = 10;
int_ajuste_M11 = 10;
distribuciones.usar_conos = 1;
distribuciones.distr_ini_conoA = zeros(1,20);
distribuciones.distr_ini_conoB = zeros(1,20);
distribuciones.usar_aros = 0;
distribuciones.distr_ini_aros = zeros(1,20);
patron_conos.A = 15;
patron_conos.T = 650;
estrategia_emparejado.recto = 0;
estrategia_emparejado.L = 1;
estrategia_emparejado.V = 0;

grabar_videos = 0;
mostrar_figuras = 1;

```

ILUSTRACIÓN 73 INFORMACIÓN GENERAL PARA EL GEMELO DIGITAL**ILUSTRACIÓN 74 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN**

**ILUSTRACIÓN 75 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 76 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN**

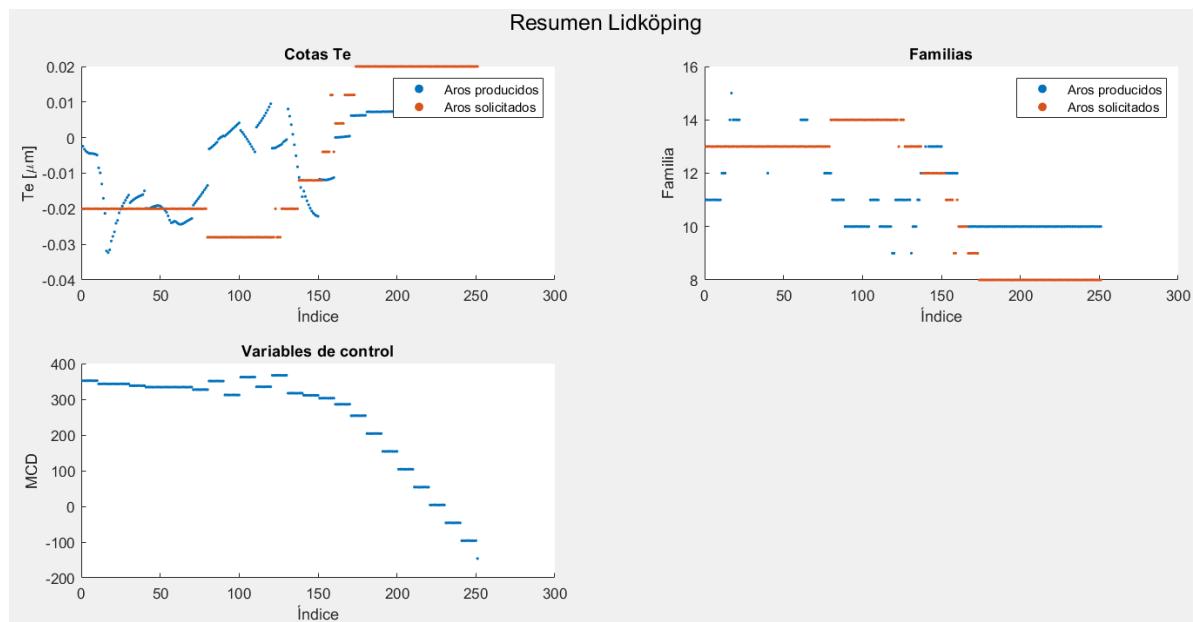
SOLO EMPAREJADO EN V

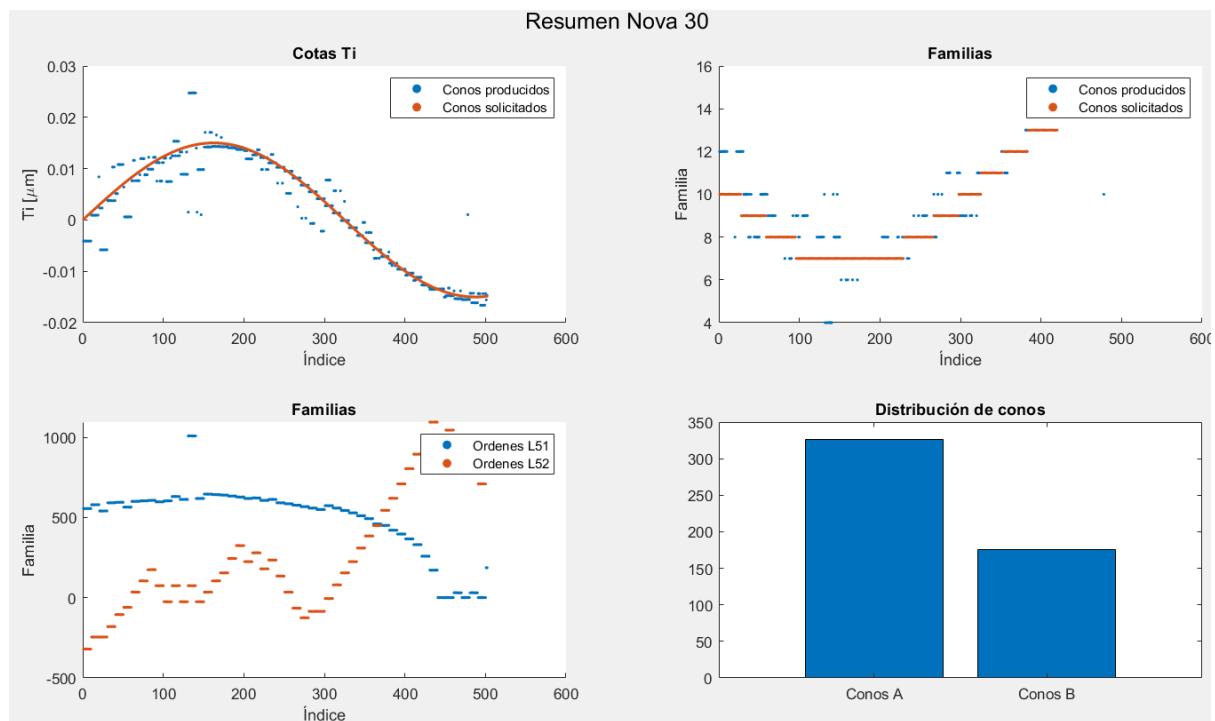
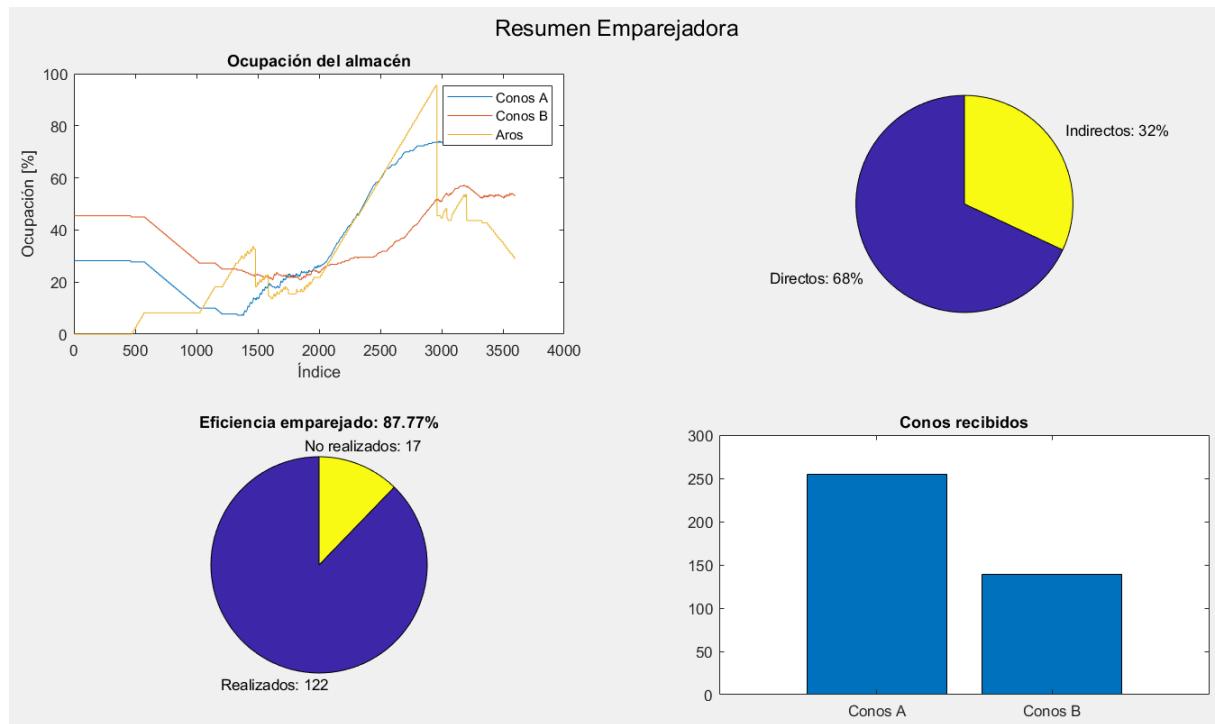
```

numero_factores_M06 = 7;
num_fact_conosA = 5;
num_fact_conosB = 5;
intervalo_ajuste_M06 = 10;
int_ajuste_M11 = 10;
distribuciones.usar_conos = 1;
distribuciones.distr_ini_conoA = zeros(1,20);
distribuciones.distr_ini_conoB = zeros(1,20);
distribuciones.usar_aros = 0;
distribuciones.distr_ini_aros = zeros(1,20);
patron_conos.A = 15;
patron_conos.T = 650;
estrategia_emparejado.recto = 0;
estrategia_emparejado.L = 0;
estrategia_emparejado.V = 1;

grabar_videos = 0;
mostrar_figuras = 1;

```

ILUSTRACIÓN 77 INFORMACIÓN GENERAL PARA EL GEMELO DIGITAL**ILUSTRACIÓN 78 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN**

**ILUSTRACIÓN 79 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 80 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN**

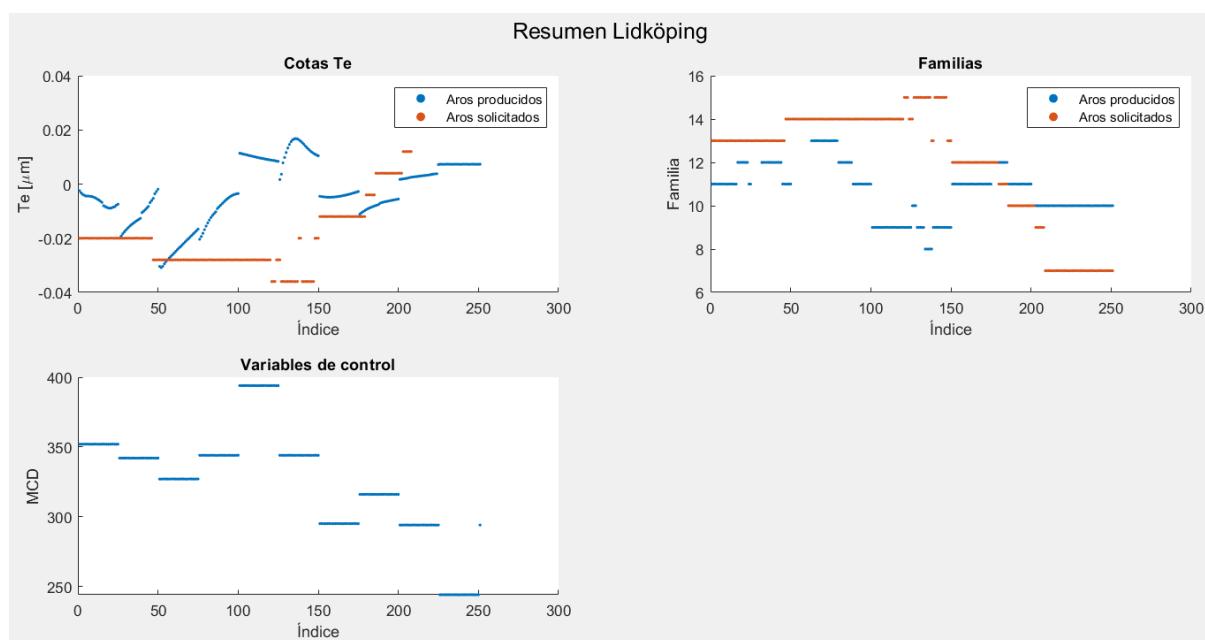
CAMBIO EN LA FRECUENCIA DE AJUSTE DE LA RECTIFICADORA DE AROS A 25

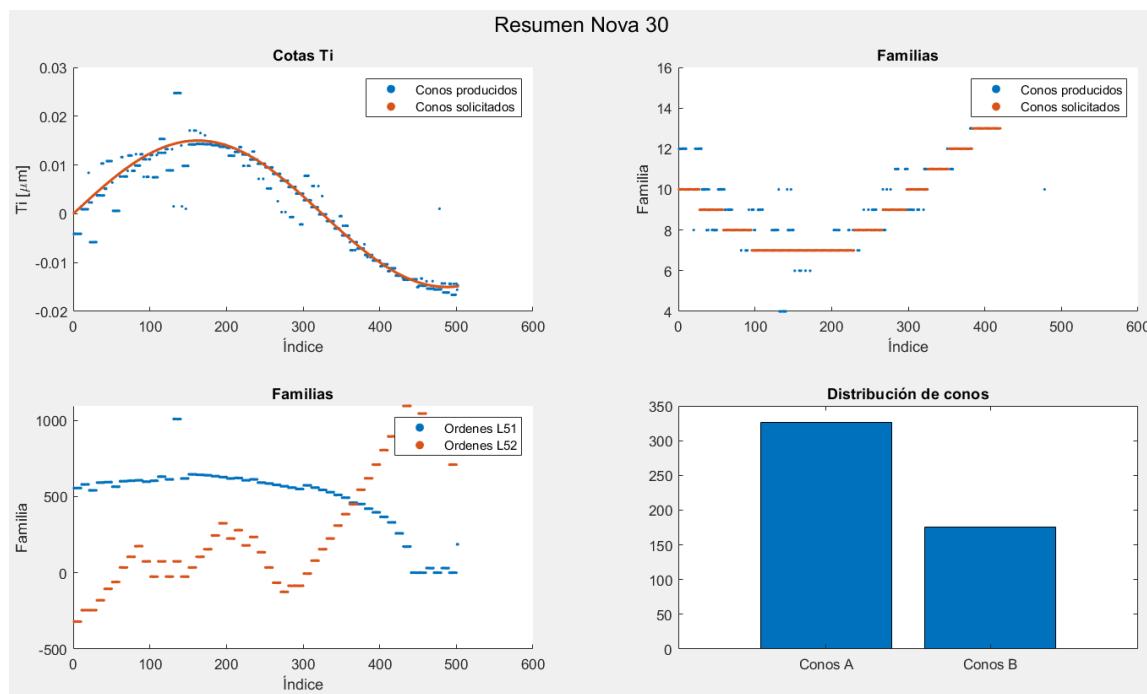
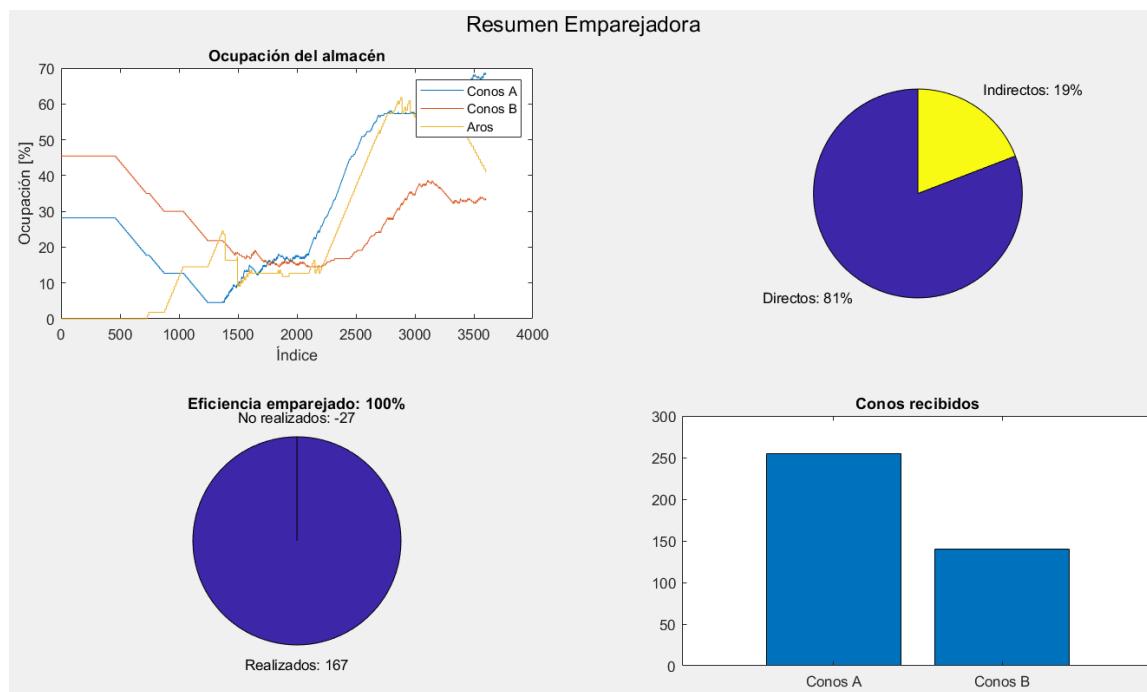
```

numero_factores_M06 = 7;
num_fact_conosA = 5;
num_fact_conosB = 5;
intervalo_ajuste_M06 = 25;
int_ajuste_M11 = 10;
distribuciones.usar_conos = 1;
distribuciones.distr_ini_conoA = zeros(1,20);
distribuciones.distr_ini_conoB = zeros(1,20);
distribuciones.usar_aros = 0;
distribuciones.distr_ini_aros = zeros(1,20);
patron_conos.A = 15;
patron_conos.T = 650;
estrategia_emparejado.recto = 1;
estrategia_emparejado.L = 1;
estrategia_emparejado.V = 1;

grabar_videos = 0;
mostrar_figuras = 1;

```

ILUSTRACIÓN 81 INFORMACIÓN GENERAL PARA EL GEMELO DIGITAL**ILUSTRACIÓN 82 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN**

**ILUSTRACIÓN 83 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 84 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN**

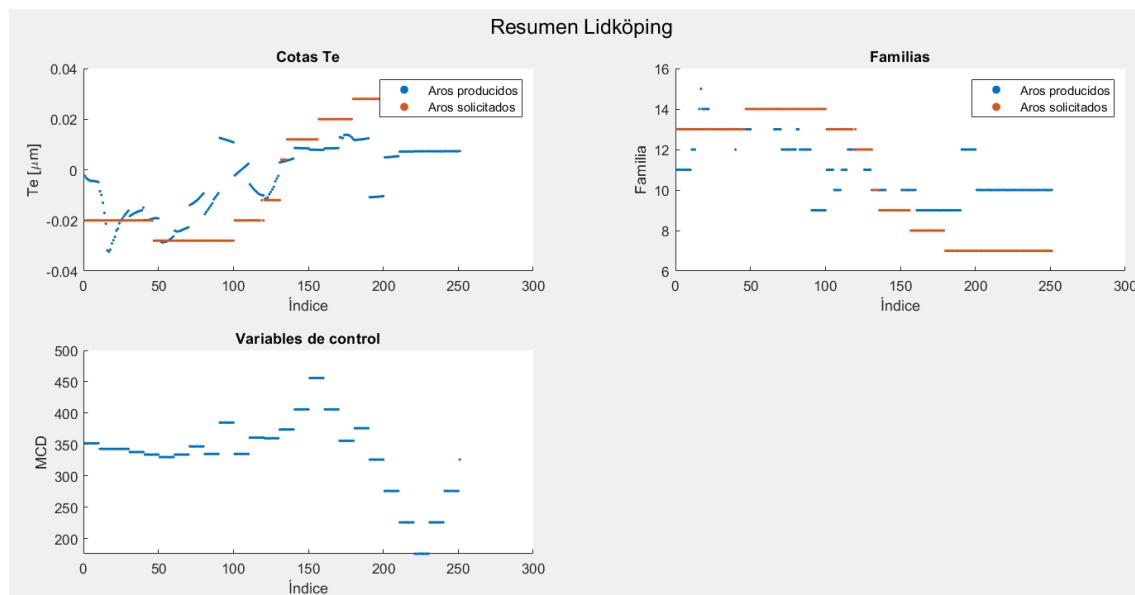
CAMBIO EN EL NUMERO DE FACTORES**7 FACTORES**

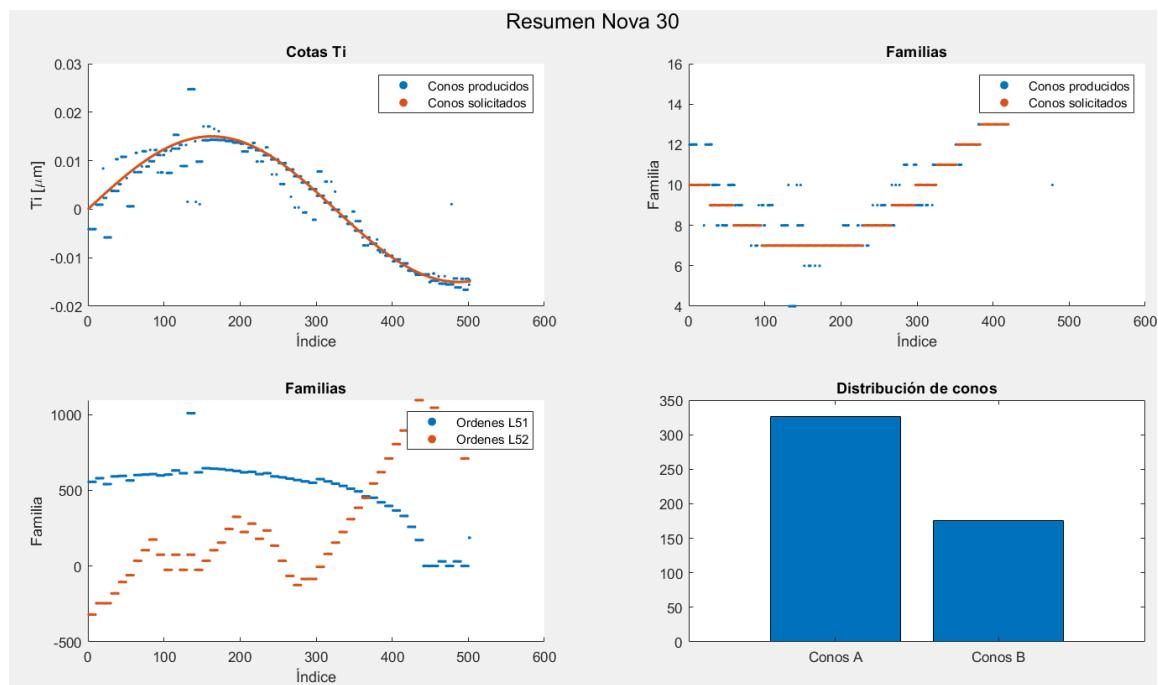
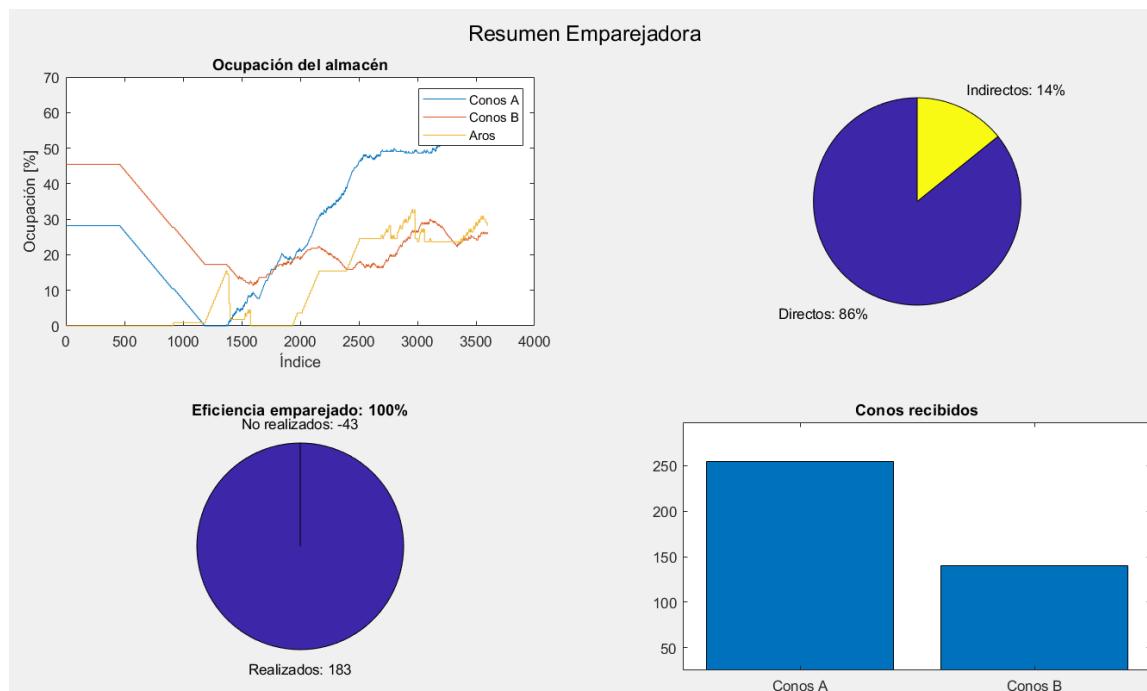
```

numero_factores_M06 = 7;
num_fact_conosA = 5;
num_fact_conosB = 5;
intervalo_ajuste_M06 = 10;
int_ajuste_M11 = 10;
distribuciones.usar_conos = 1;
distribuciones.distr_ini_conoA = zeros(1,20);
distribuciones.distr_ini_conoB = zeros(1,20);
distribuciones.usar_aros = 0;
distribuciones.distr_ini_aros = zeros(1,20);
patron_conos.A = 15;
patron_conos.T = 650;
estrategia_emparejado.recto = 1;
estrategia_emparejado.L = 1;
estrategia_emparejado.V = 1;

grabar_videos = 0;
mostrar_figuras = 1;

```

ILUSTRACIÓN 85 INFORMACIÓN GENERAL PARA EL GEMELO DIGITAL**ILUSTRACIÓN 86 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN**

**ILUSTRACIÓN 87 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 88 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN**

4 FACTORES

```

numero_factores_M06 = 4;
num_fact_conosA = 5;
num_fact_conosB = 5;
intervalo_ajuste_M06 = 10;
int_ajuste_M11 = 10;
distribuciones.usar_conos = 1;
distribuciones.distr_ini_conoA = zeros(1,20);
distribuciones.distr_ini_conoB = zeros(1,20);
distribuciones.usar_aros = 0;
distribuciones.distr_ini_aros = zeros(1,20);
patron_conos.A = 15;
patron_conos.T = 650;
estrategia_emparejado.recto = 1;
estrategia_emparejado.L = 1;
estrategia_emparejado.V = 1;

grabar_videos = 0;
mostrar_figuras = 1;

```

ILUSTRACIÓN 89 INFORMACIÓN GENERAL PARA EL GEMELO DIGITAL

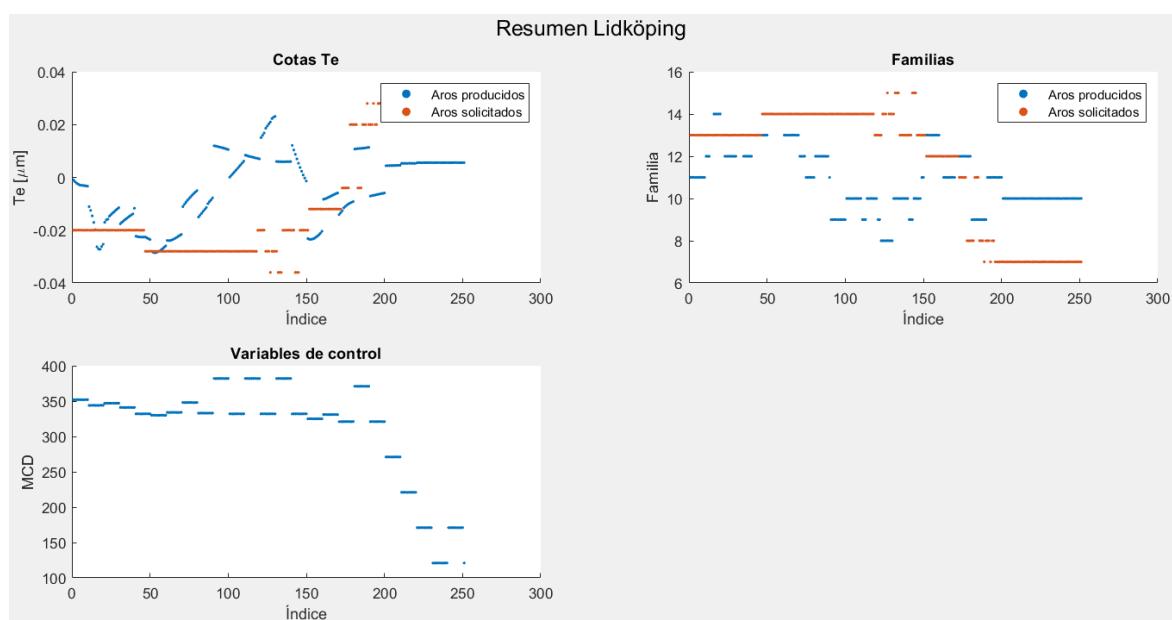
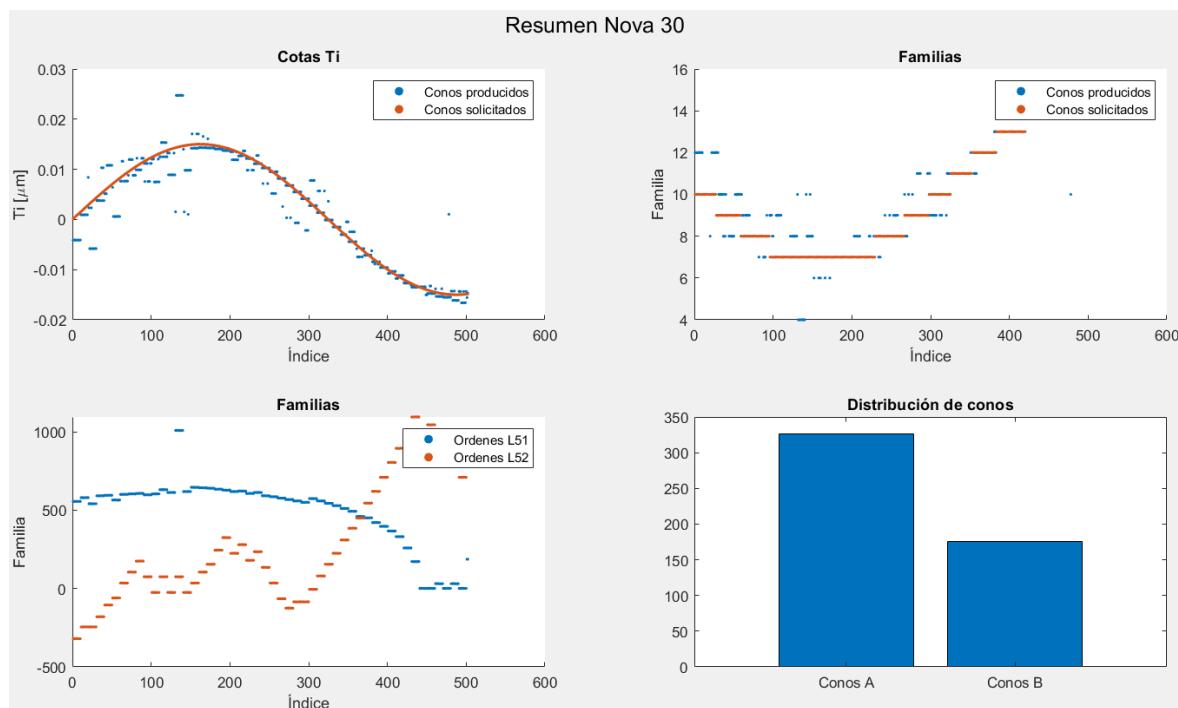
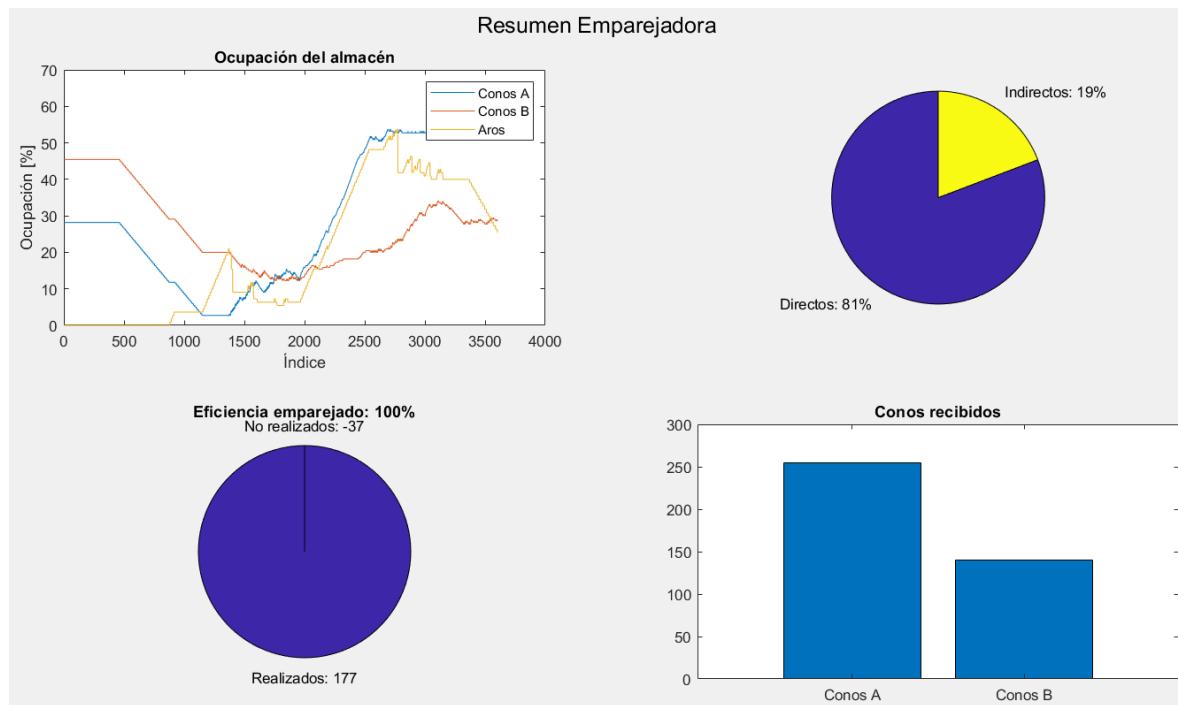


ILUSTRACIÓN 90 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN

**ILUSTRACIÓN 91 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 92 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN**

3 FACTORES

```

numero_factores_M06 = 3;
num_fact_conosA = 5;
num_fact_conosB = 5;
intervalo_ajuste_M06 = 10;
int_ajuste_M11 = 10;
distribuciones.usar_conos = 1;
distribuciones.distr_ini_conoA = zeros(1,20);
distribuciones.distr_ini_conoB = zeros(1,20);
distribuciones.usar_aros = 0;
distribuciones.distr_ini_aros = zeros(1,20);
patron_conos.A = 15;
patron_conos.T = 650;
estrategia_emparejado.recto = 1;
estrategia_emparejado.L = 1;
estrategia_emparejado.V = 1;

```

ILUSTRACIÓN 93 INFORMACIÓN GENERAL PARA EL GEMELO DIGITAL

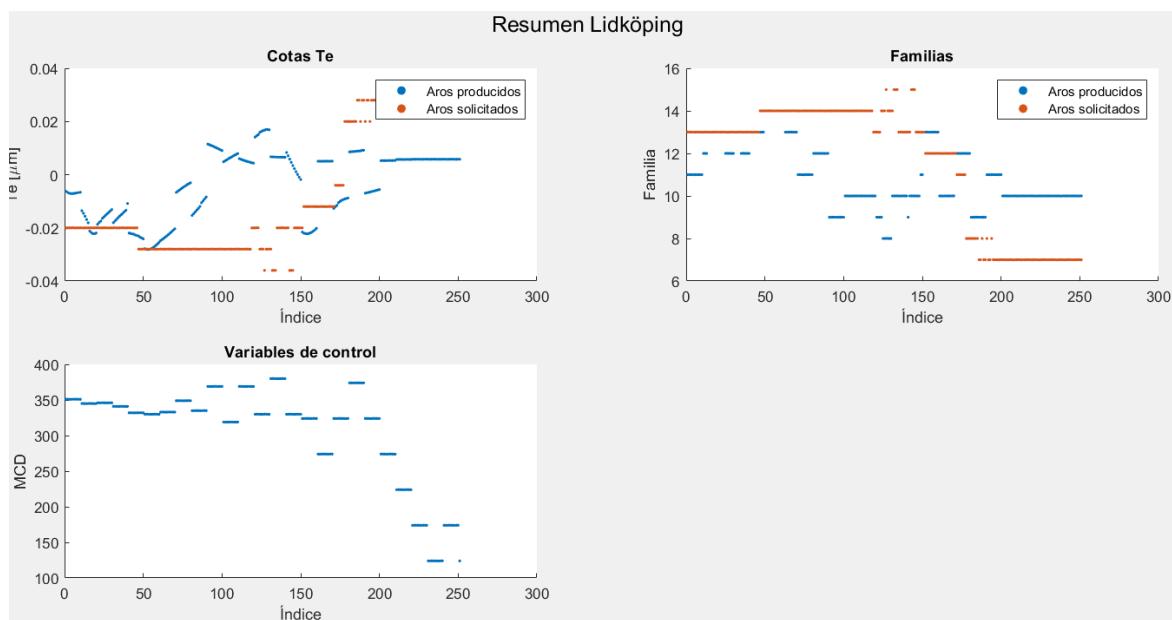
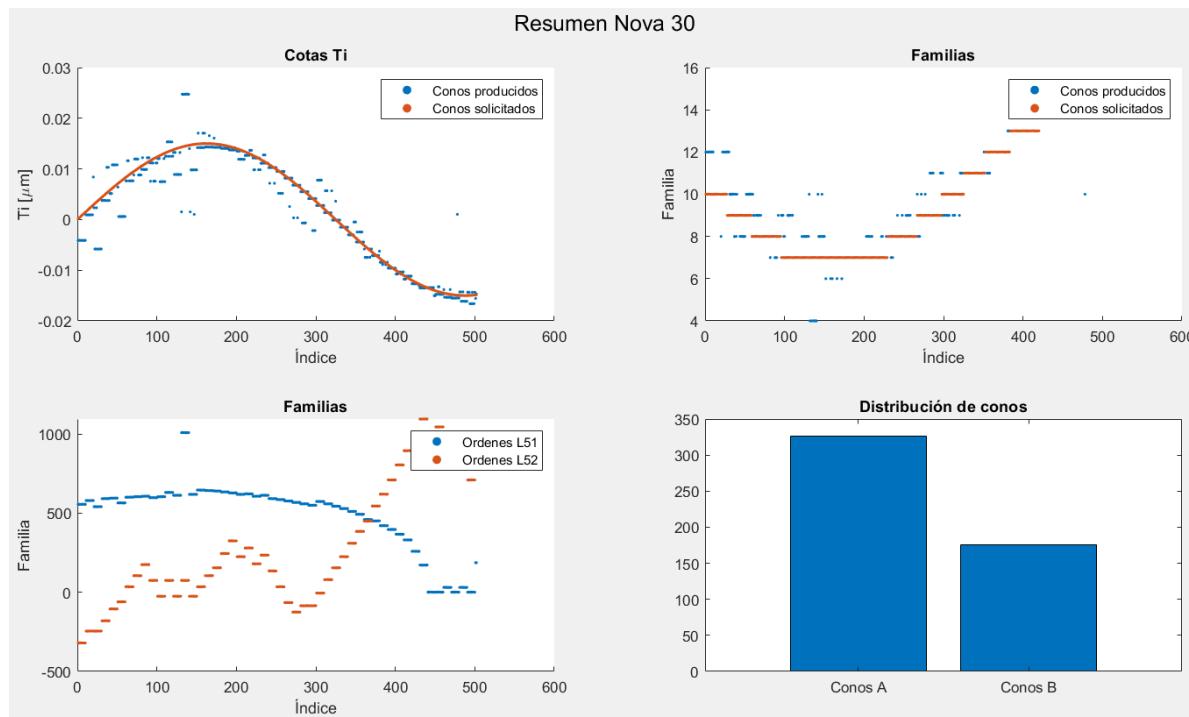
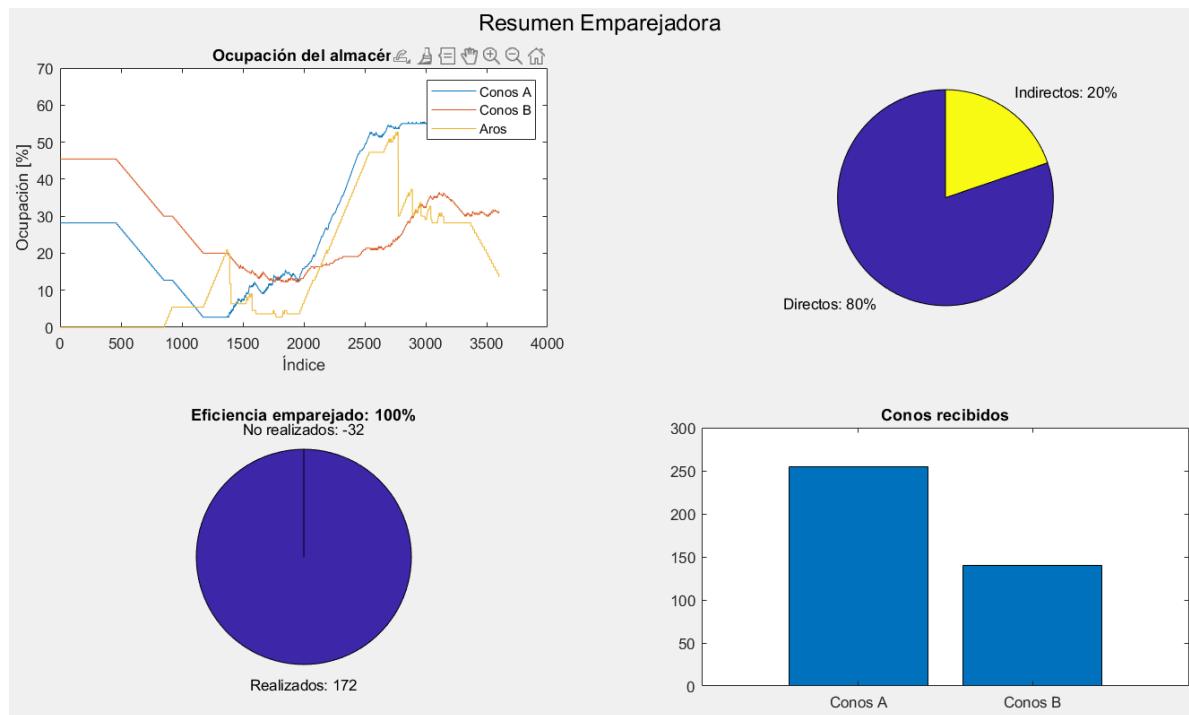
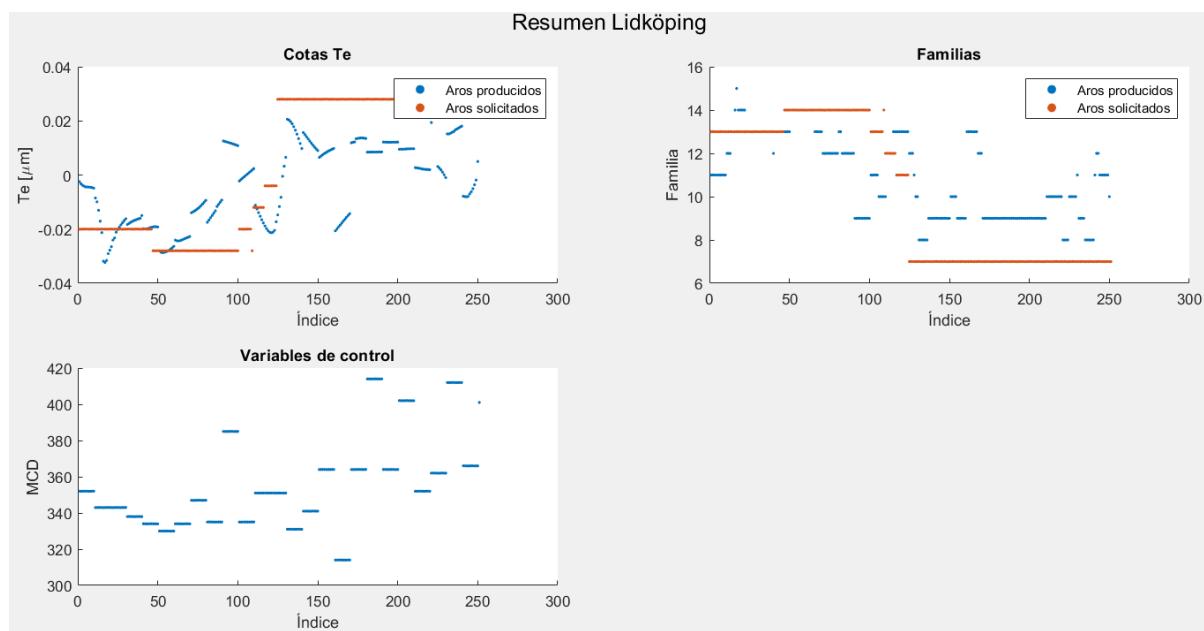
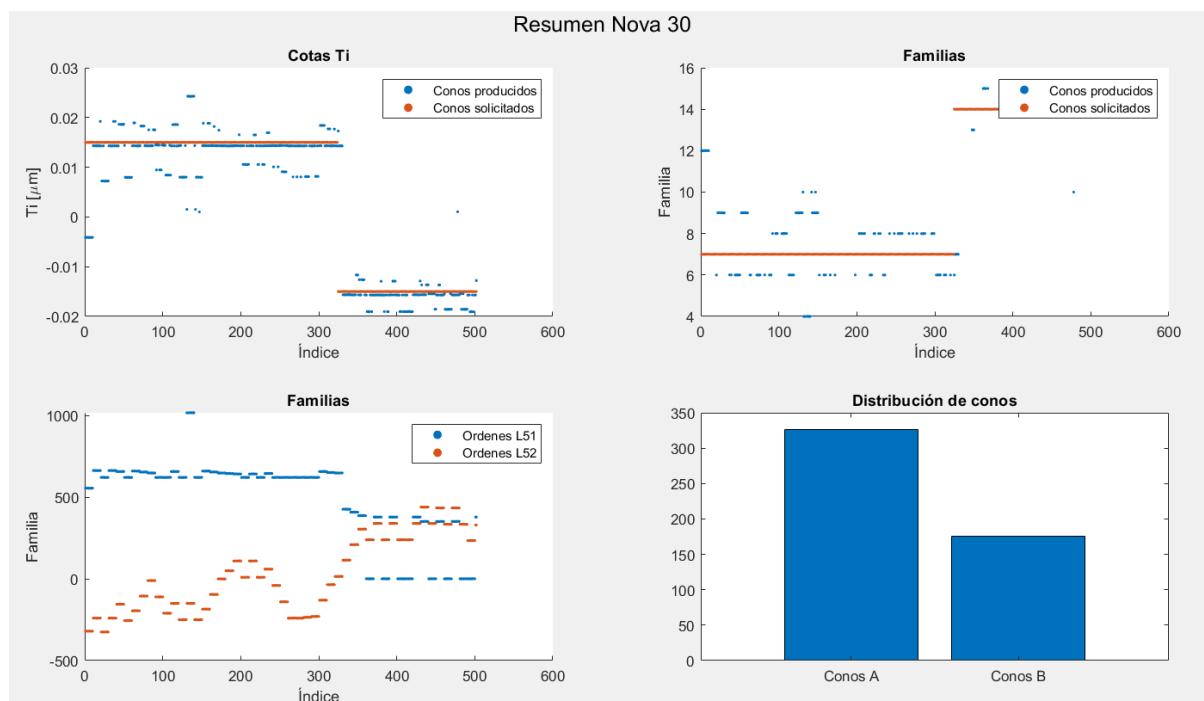
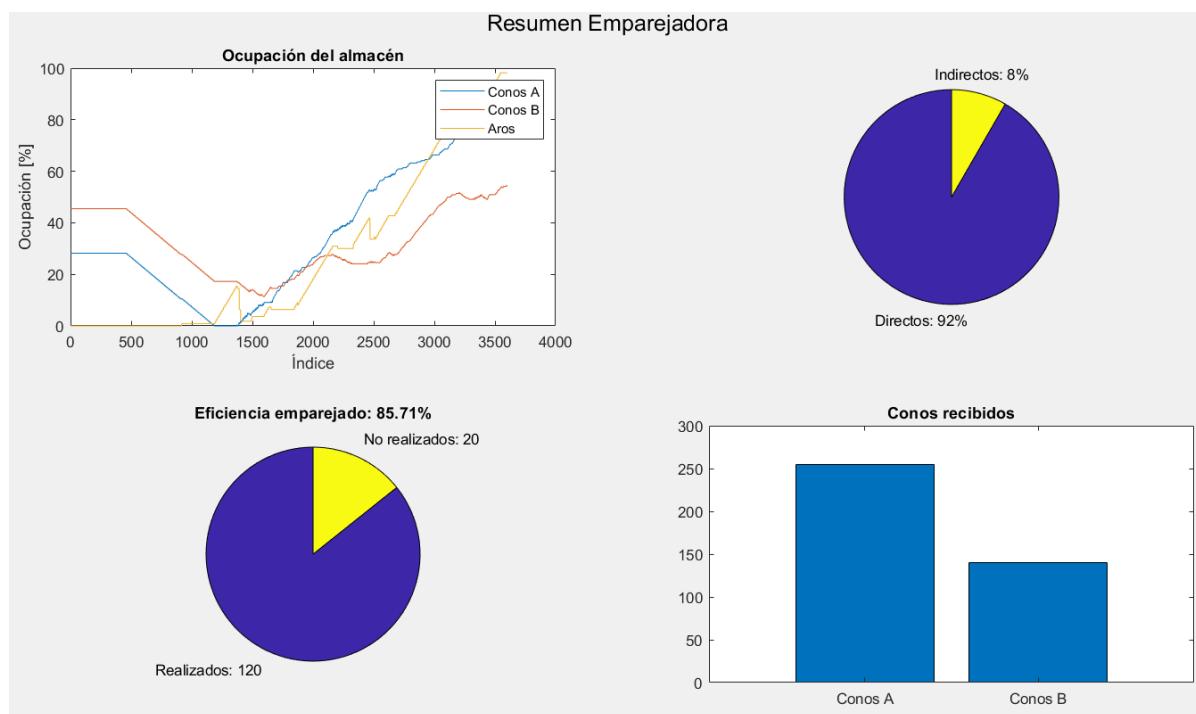
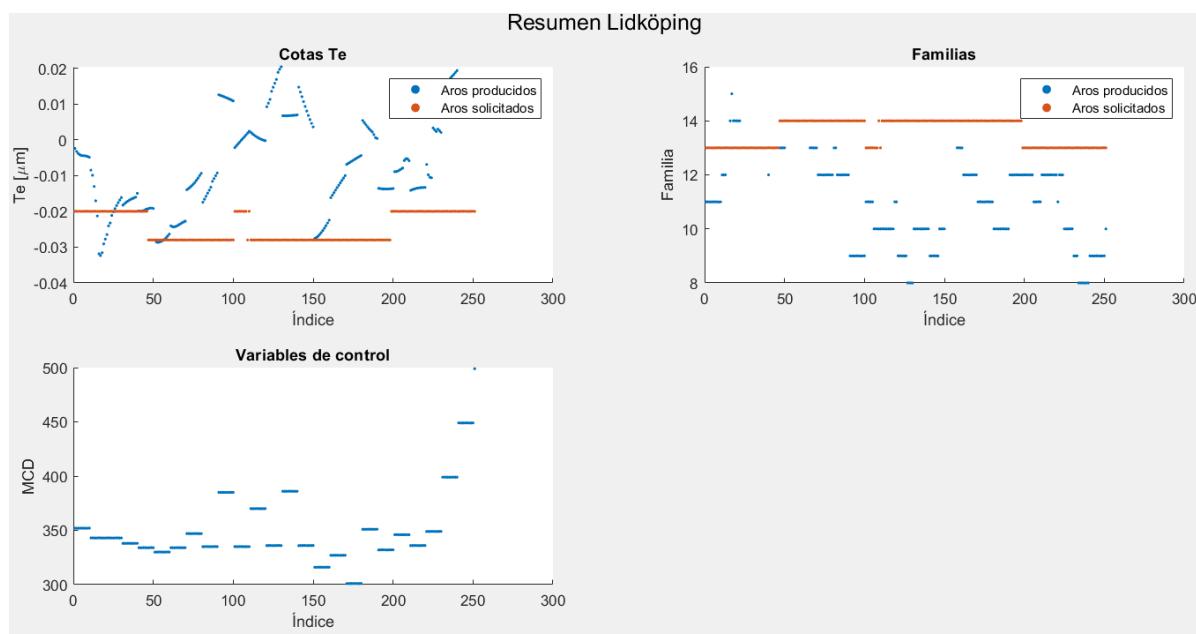
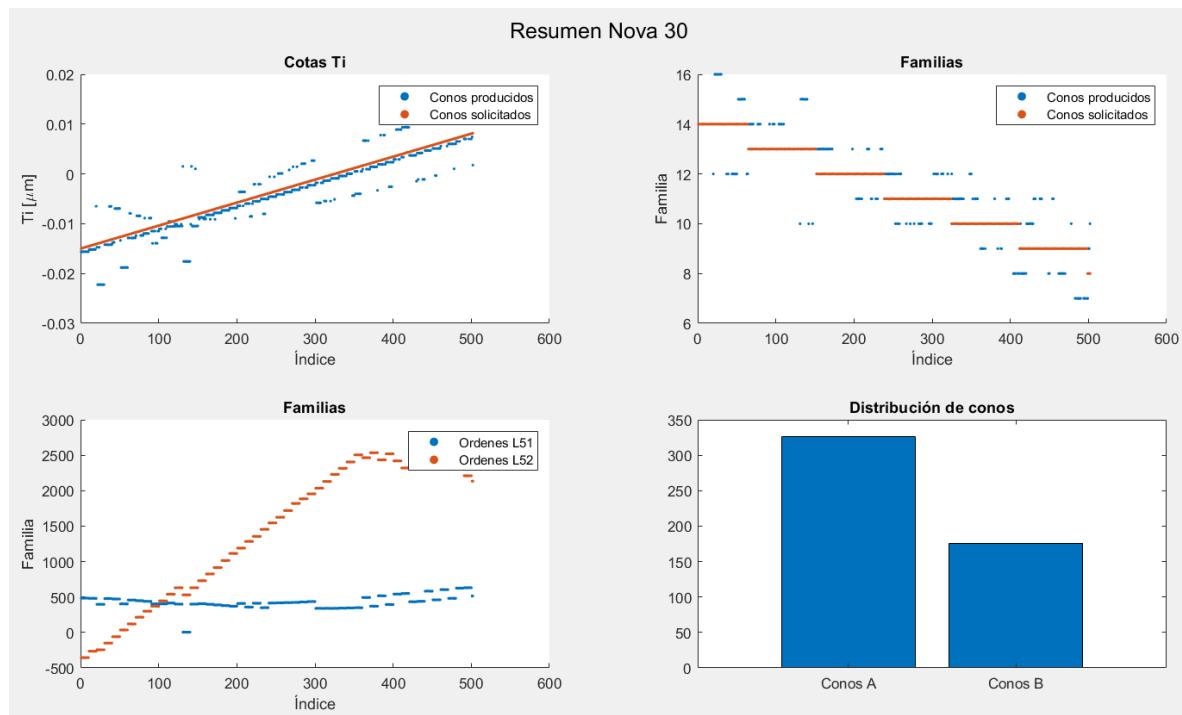
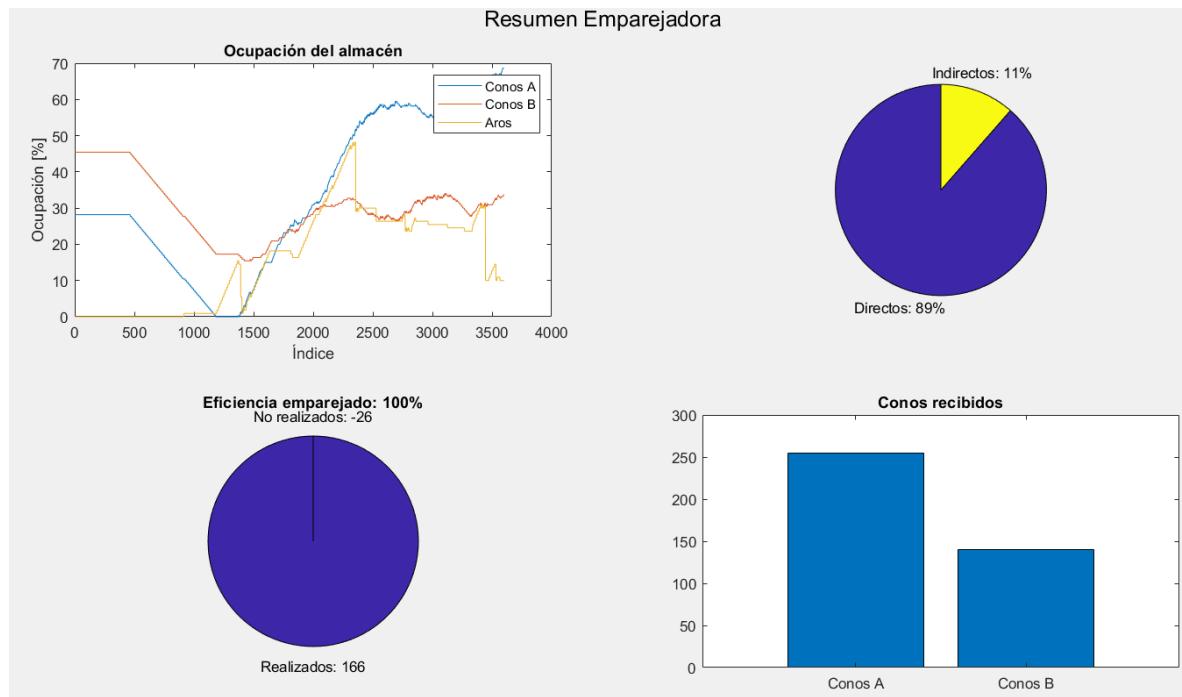


ILUSTRACIÓN 94 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN

**ILUSTRACIÓN 95 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 96 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN**

CAMBIO EN LA DISTRIBUCIÓN DE LOS CONOS**DISTRIBUCIÓN DE ONDA CUADRADA****ILUSTRACIÓN 97 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN****ILUSTRACIÓN 98 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL**

**ILUSTRACIÓN 99 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN****DISTRIBUCIÓN EN DIENTE DE SIERRA****ILUSTRACIÓN 100 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN**

**ILUSTRACIÓN 101 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 102 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN**

DISTRIBUCIÓN TRIANGULAR

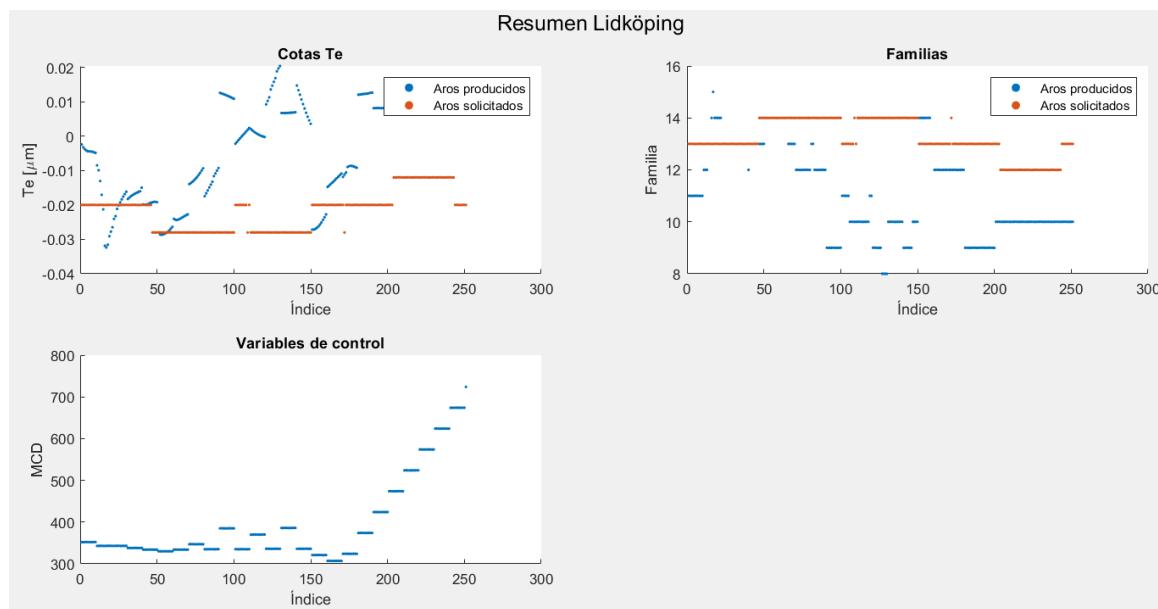


ILUSTRACIÓN 103 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN

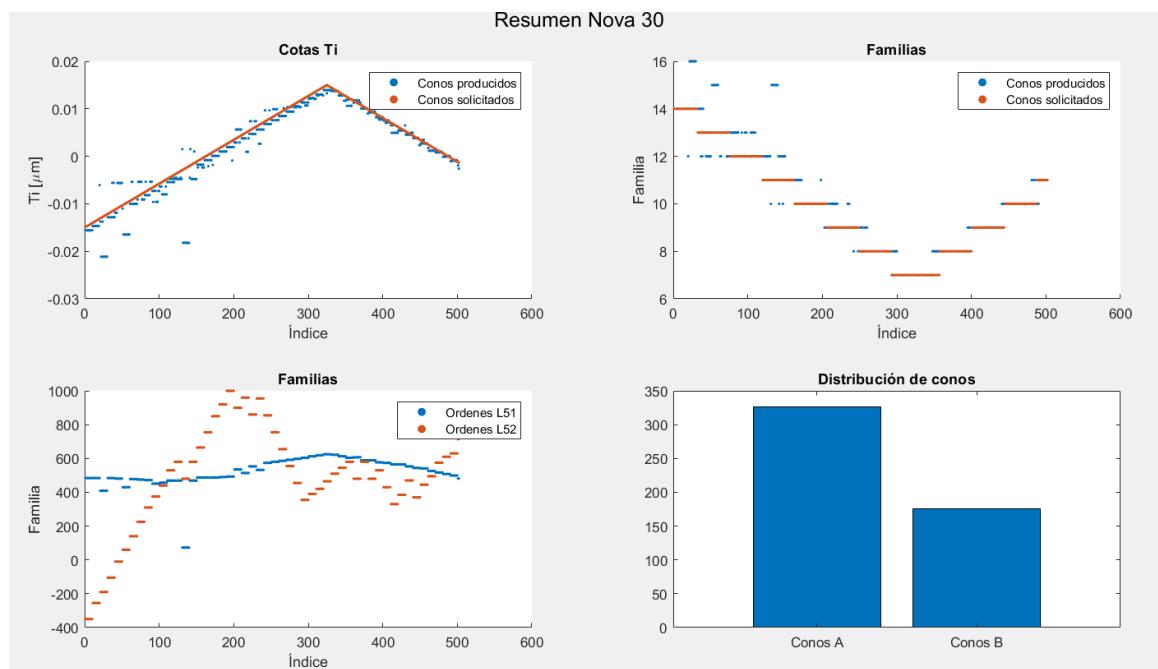
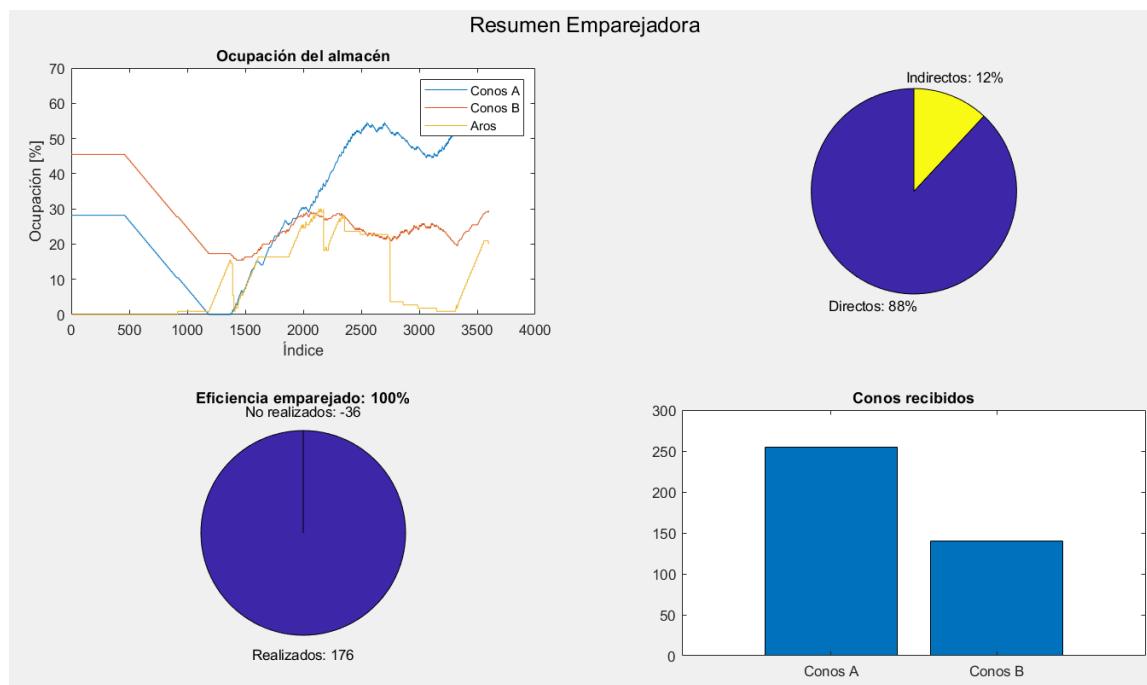
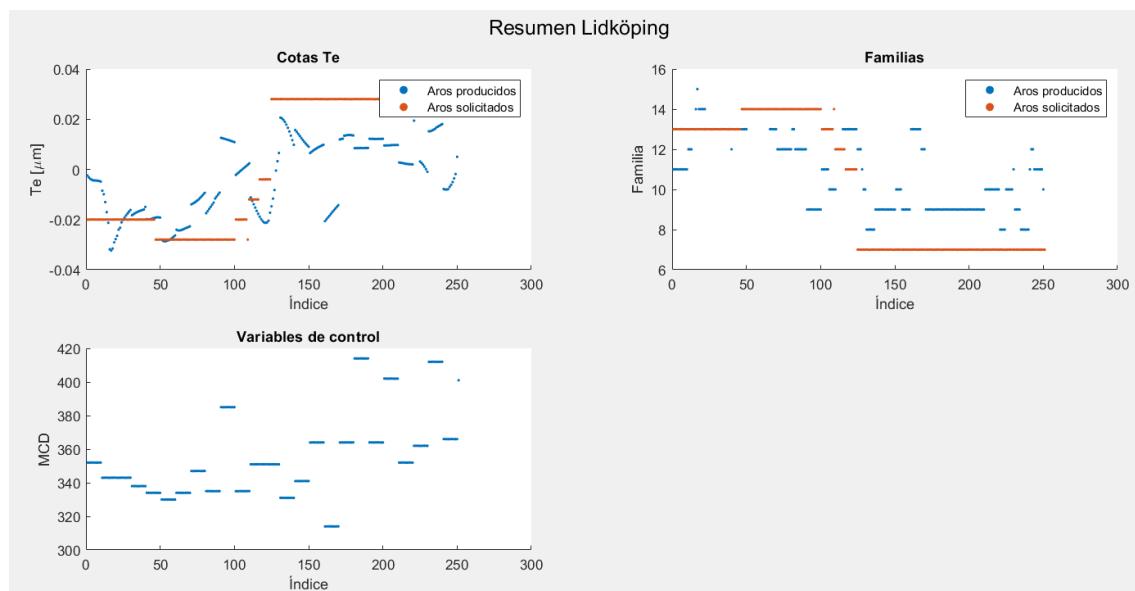
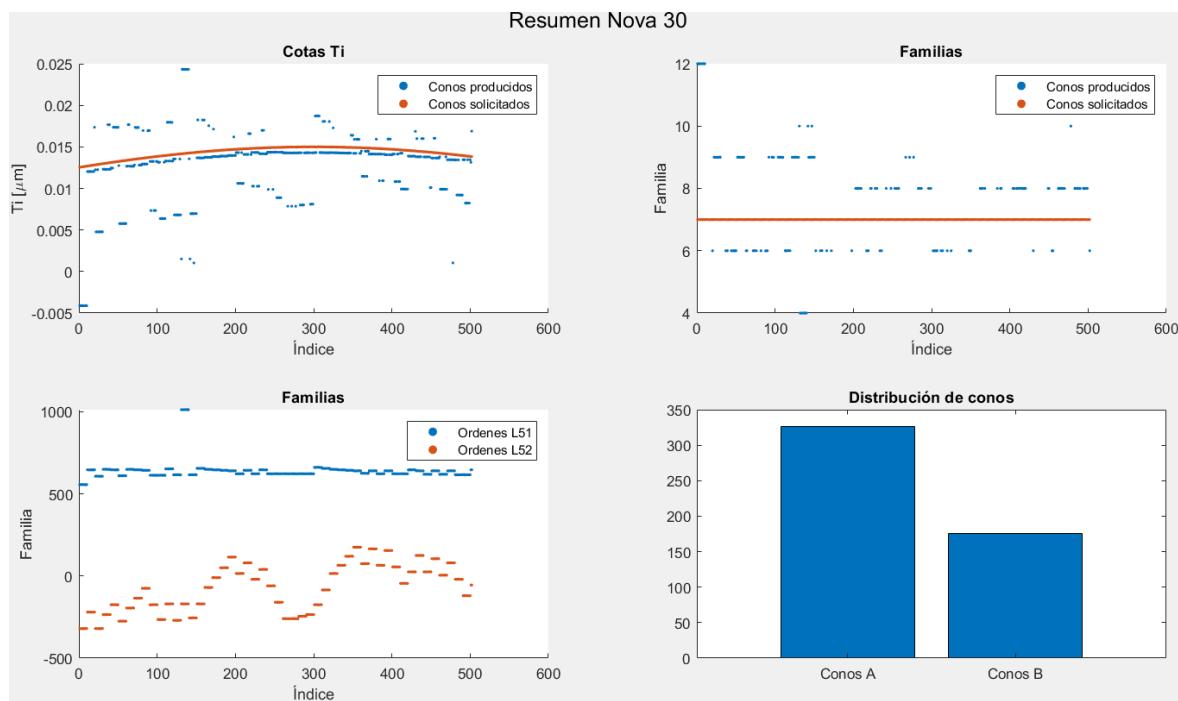
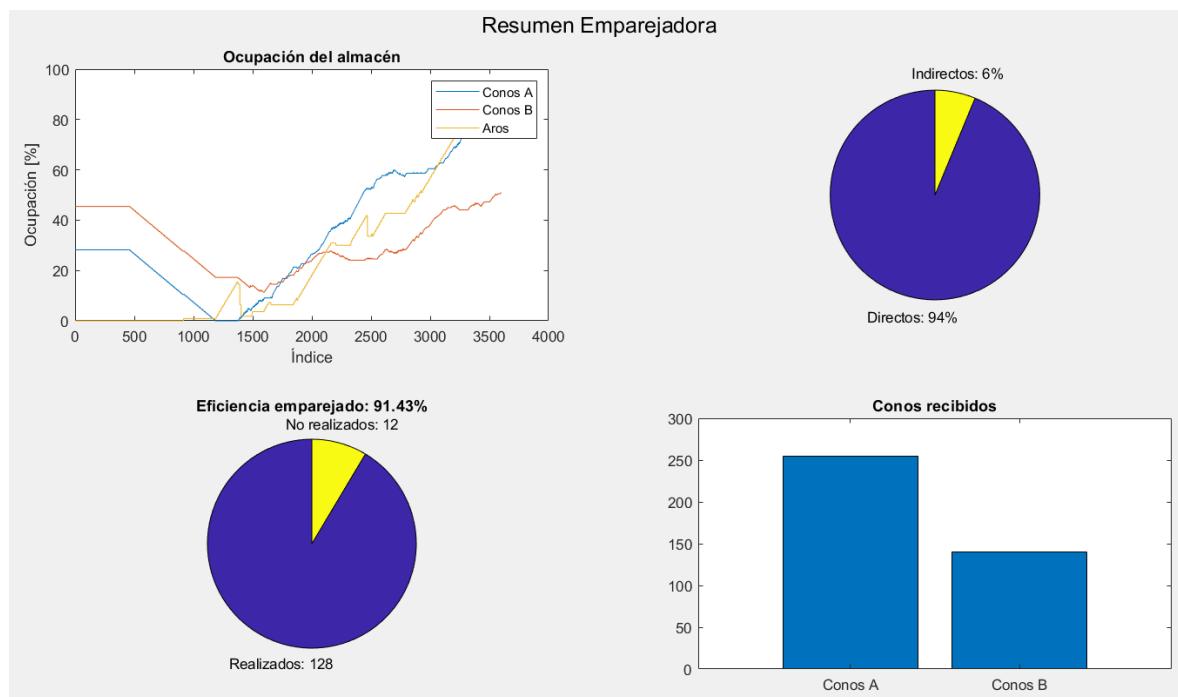


ILUSTRACIÓN 104 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL

**ILUSTRACIÓN 105 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN****DISTRIBUCIÓN GAUSSIANA****ILUSTRACIÓN 106 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN**

**ILUSTRACIÓN 107 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 108 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN**

GD CON LOS DATOS NUEVOS

ESTRATEGIA DE EMPAREJADO

SOLO EMPAREJADO RECTO PERMITIDO

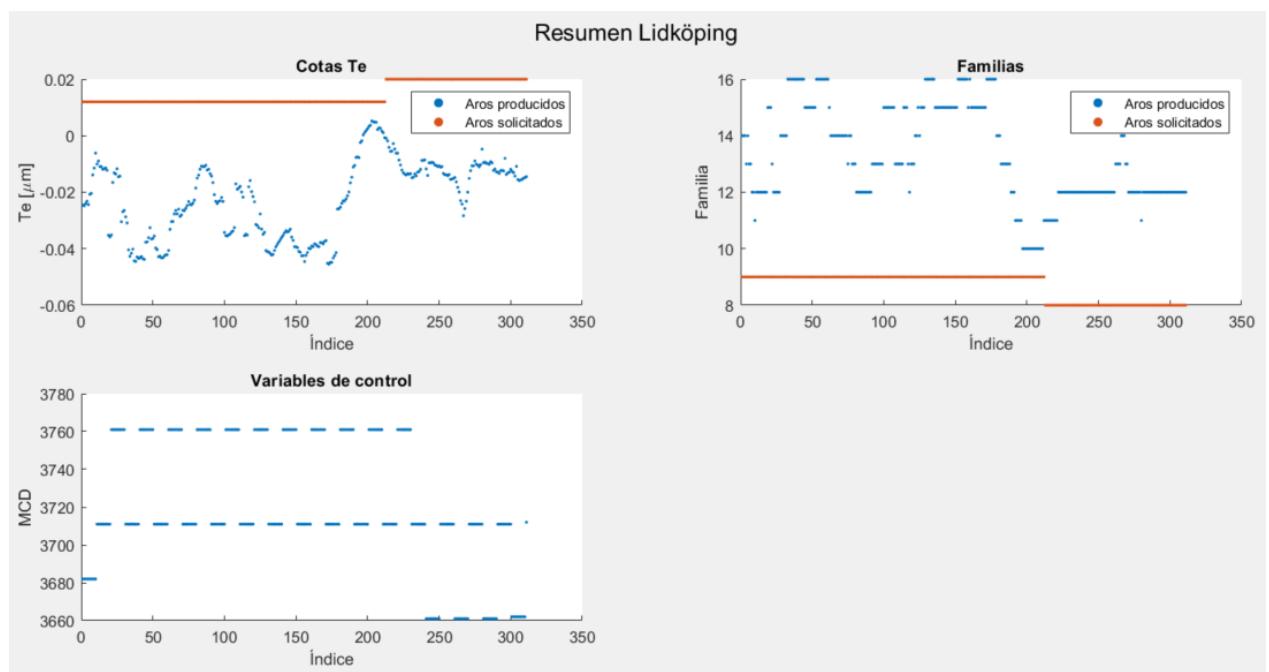
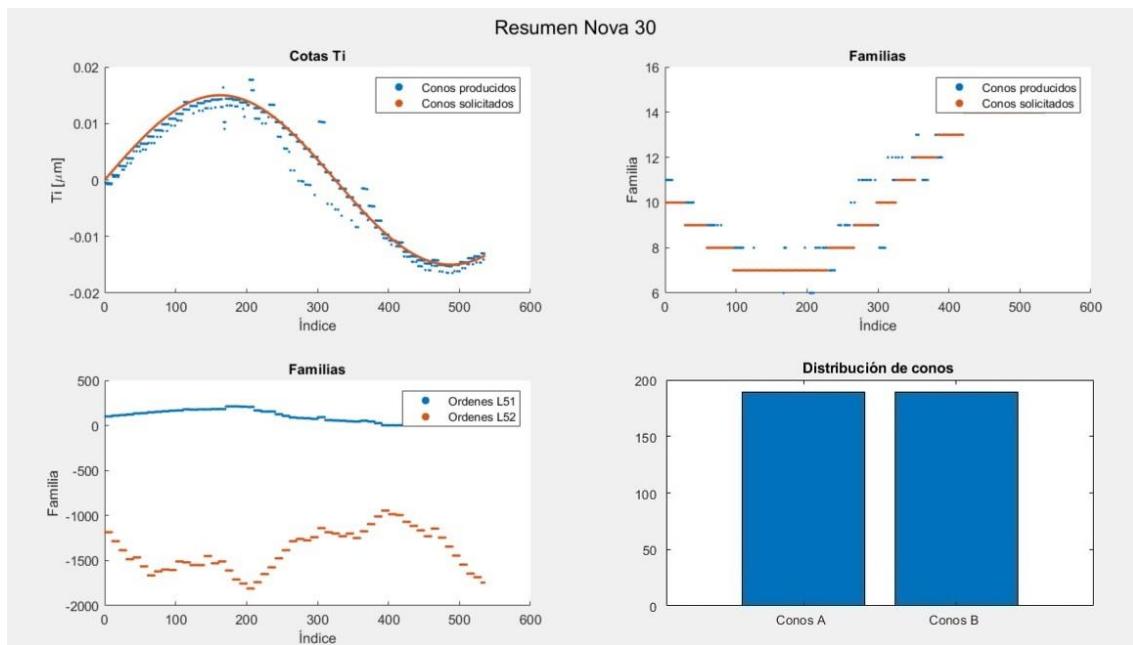
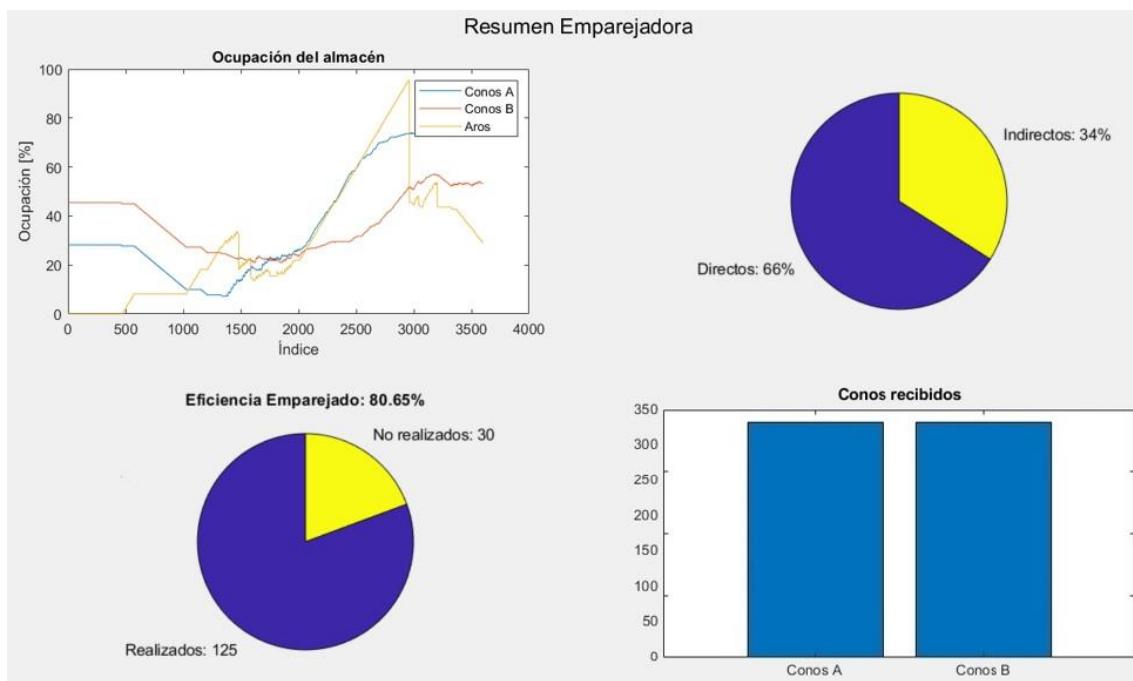
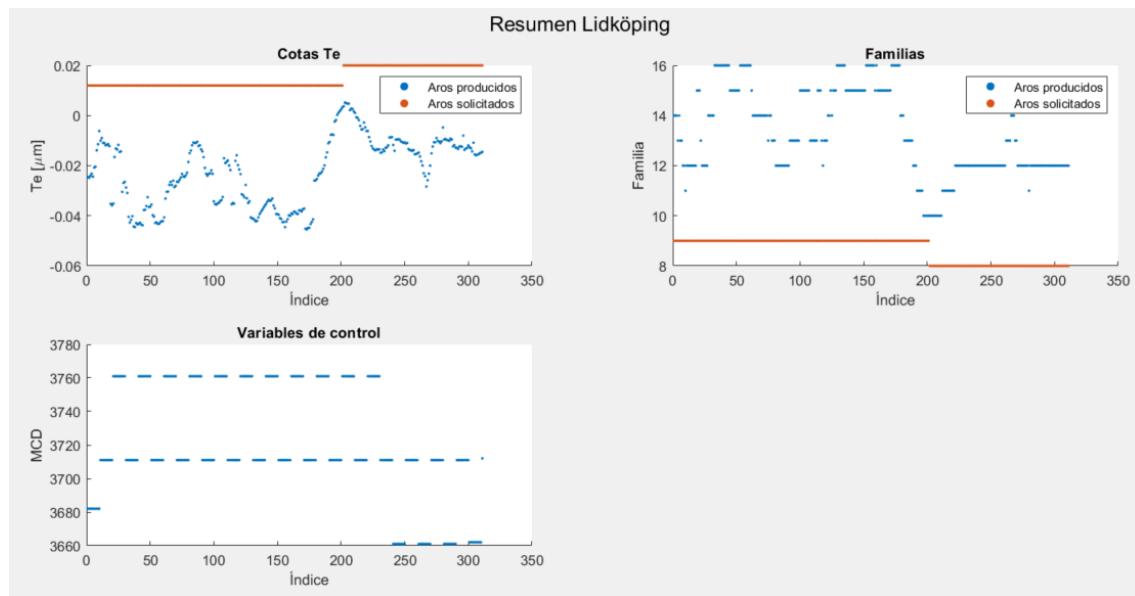
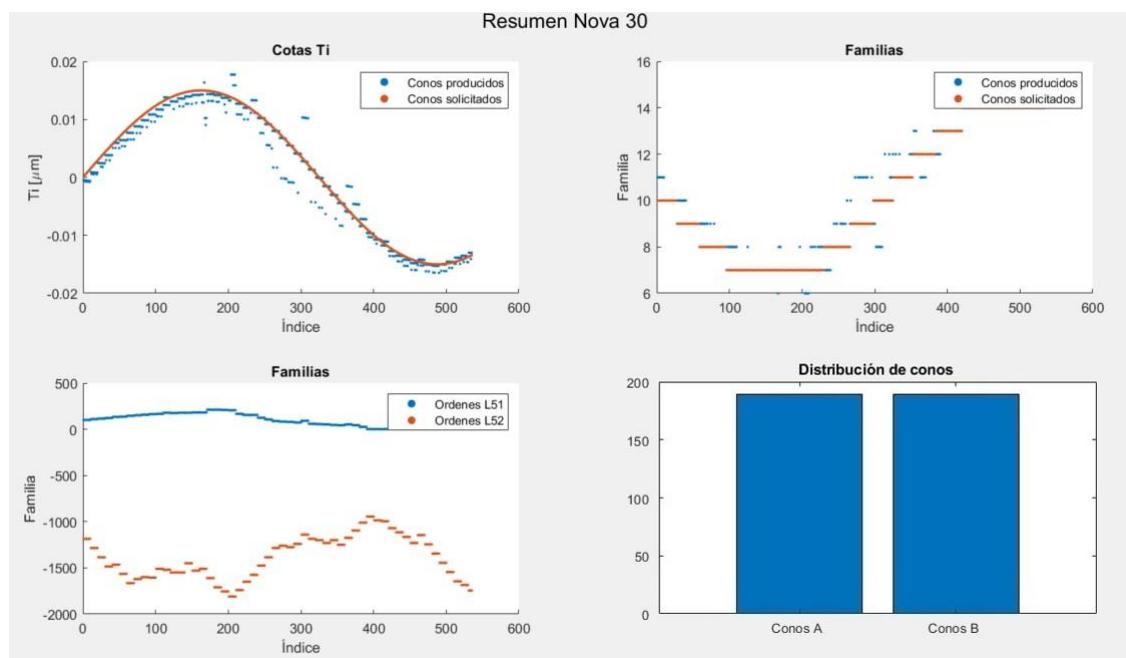
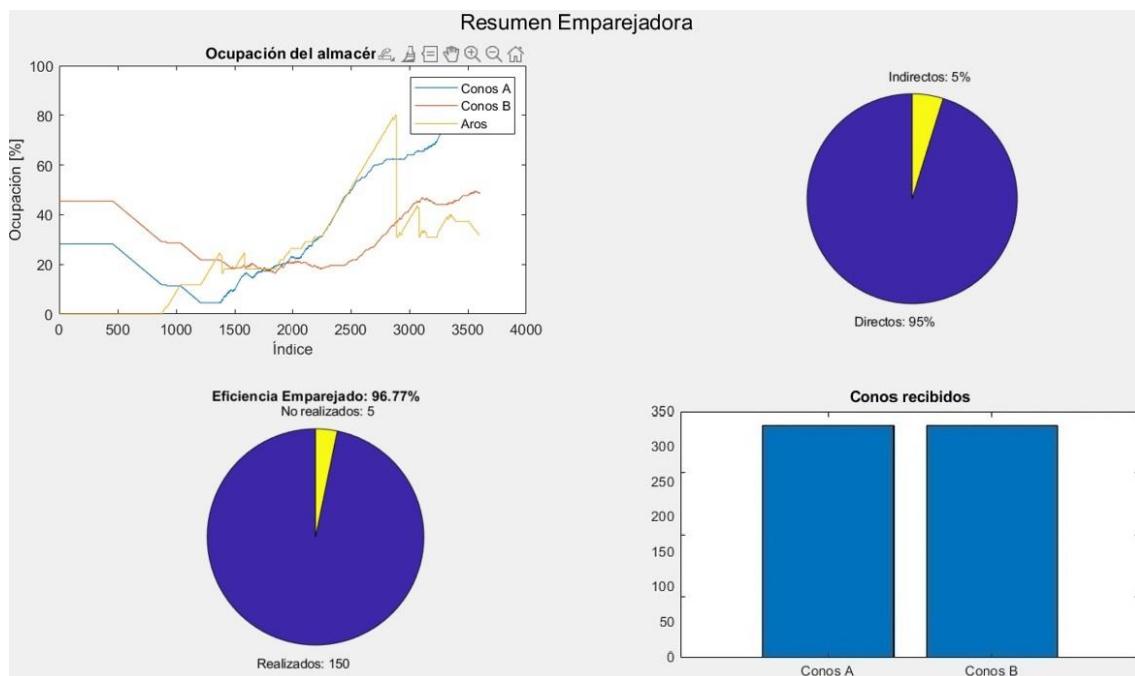
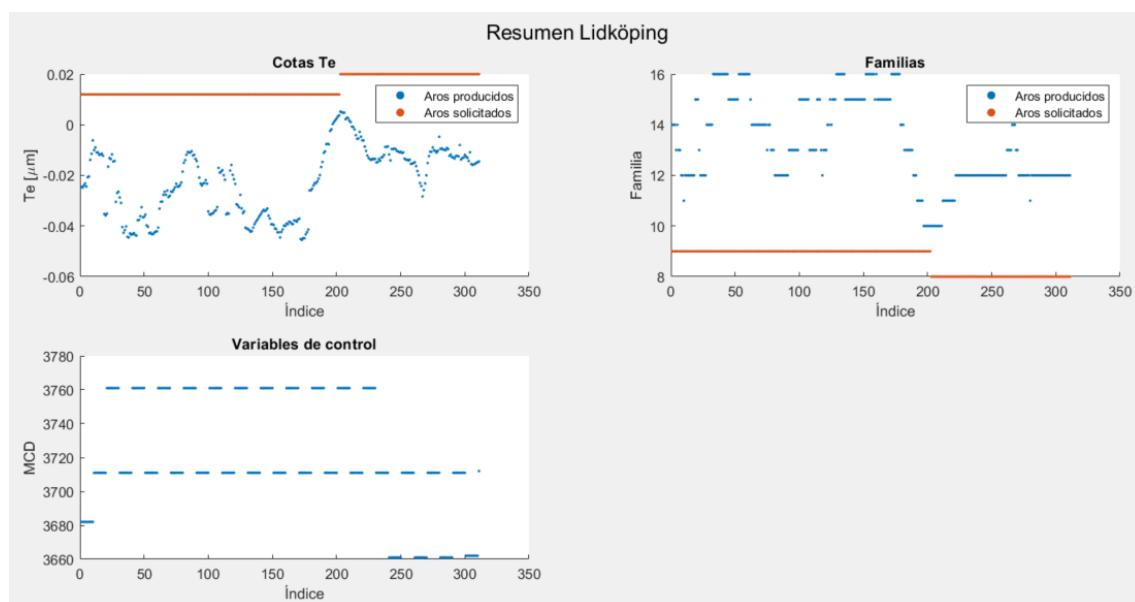
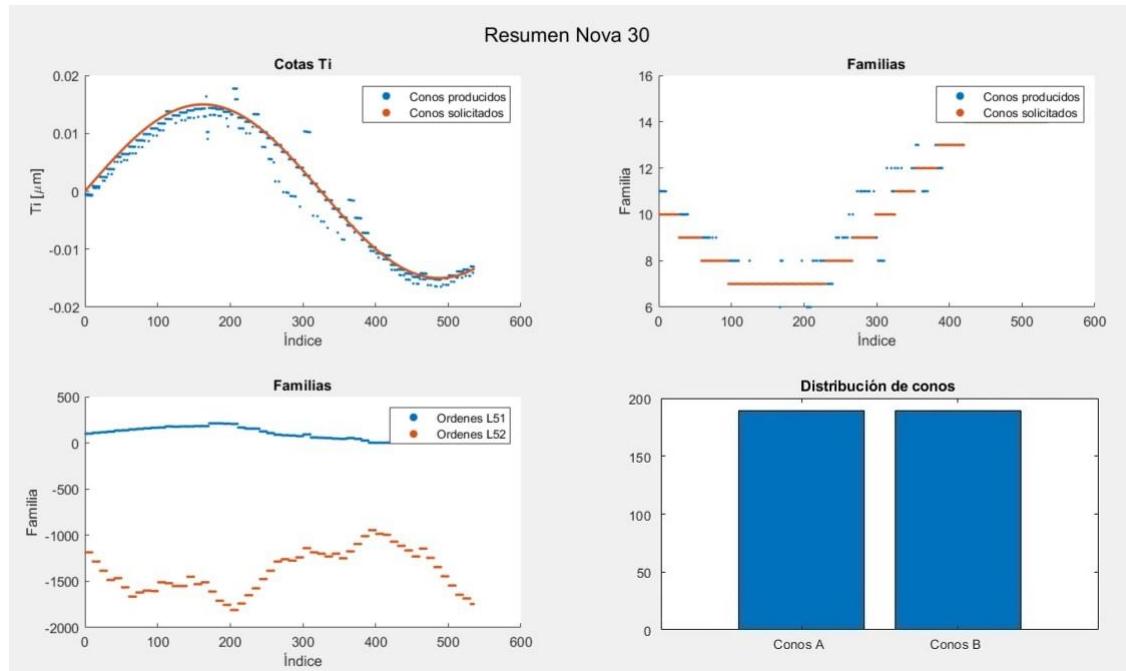
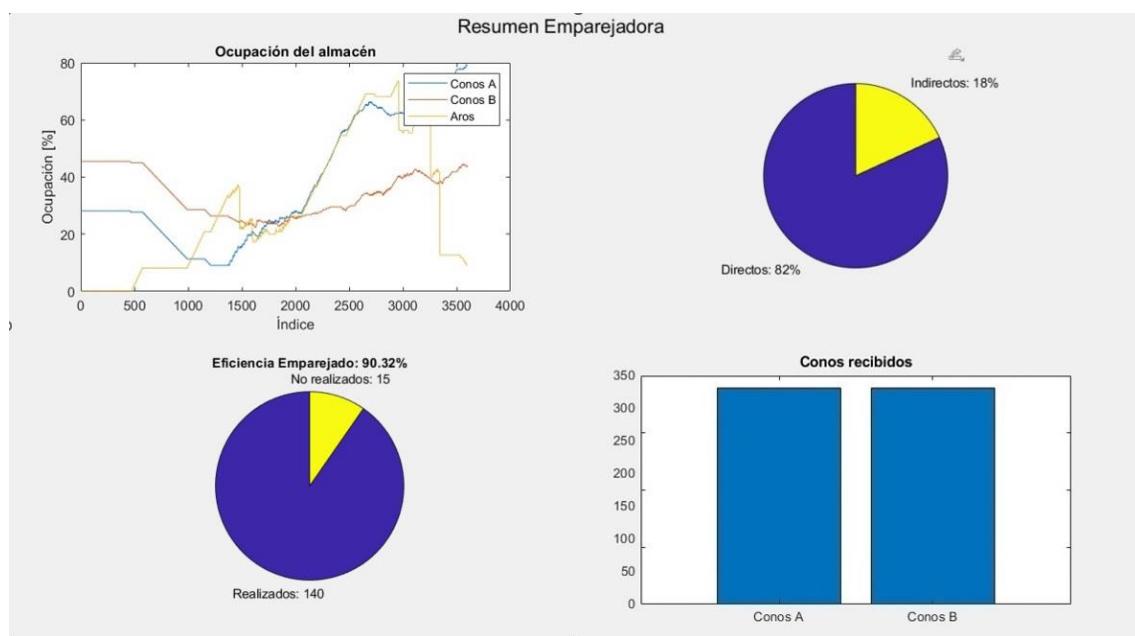


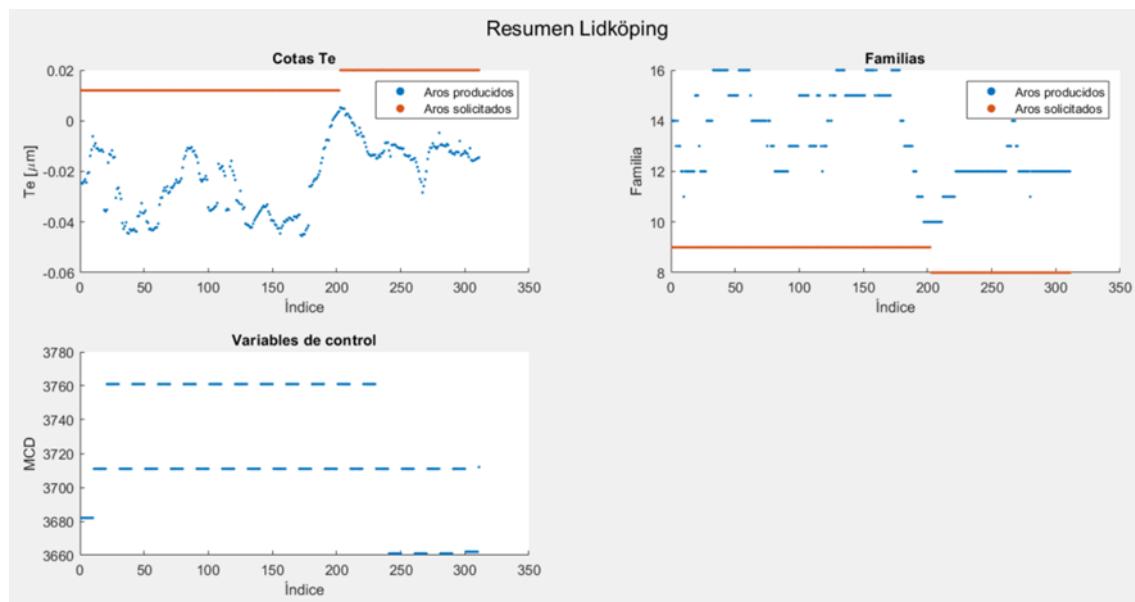
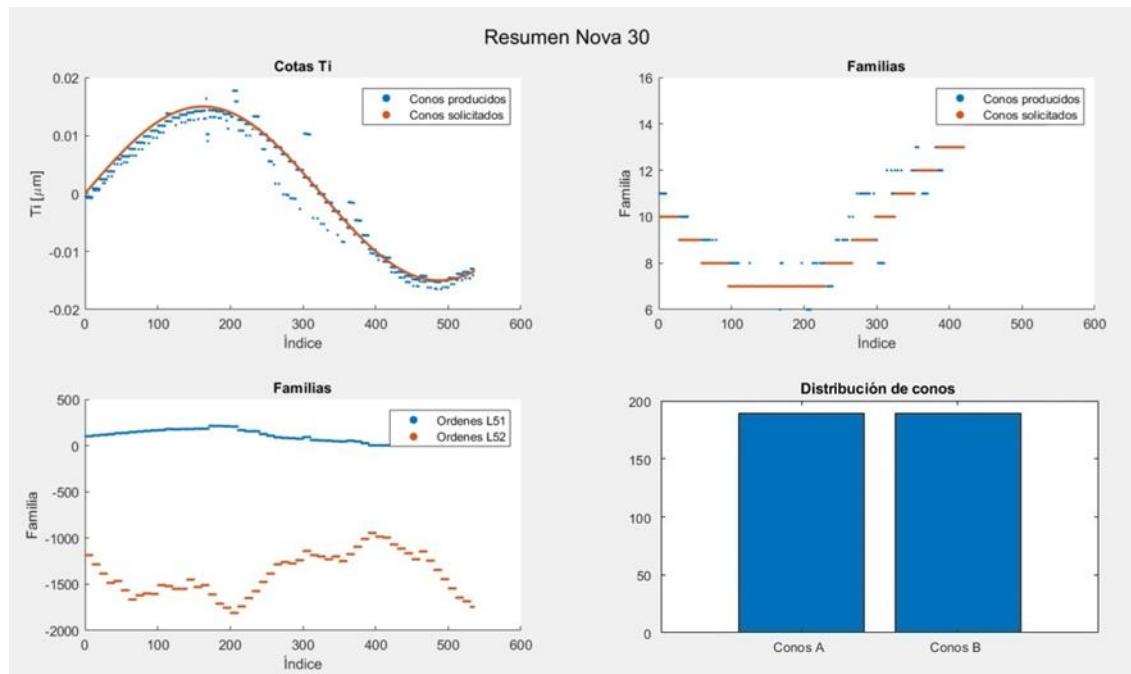
ILUSTRACIÓN 109 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN

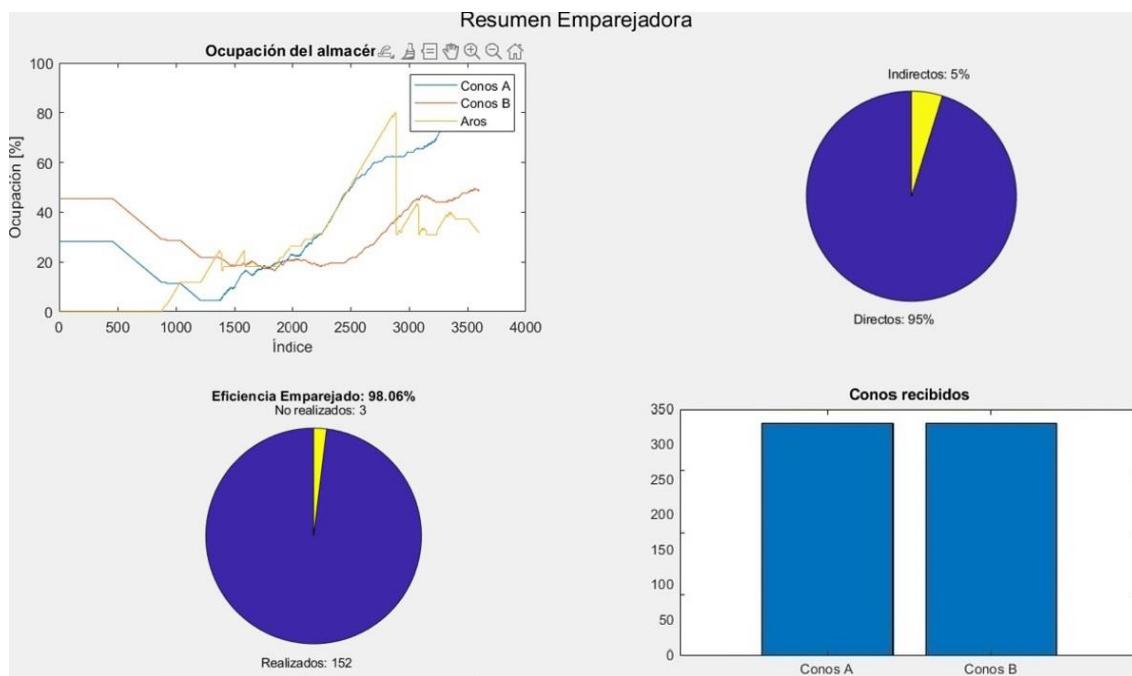
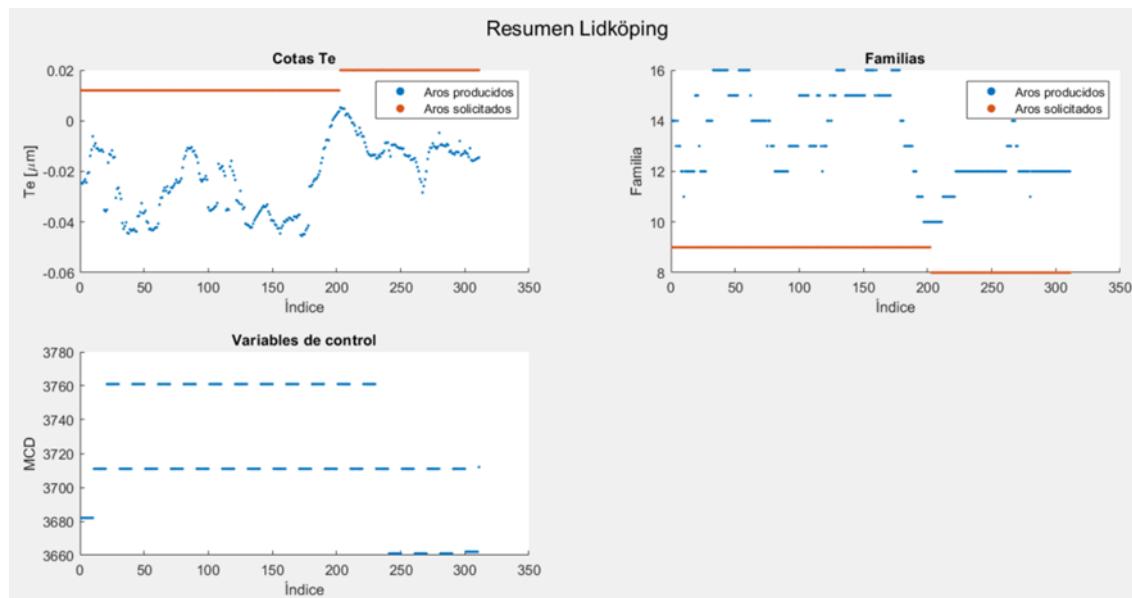
**ILUSTRACIÓN 110 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 111 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN****EMPAREJADO RECTO Y EMPAREJADO EN L**

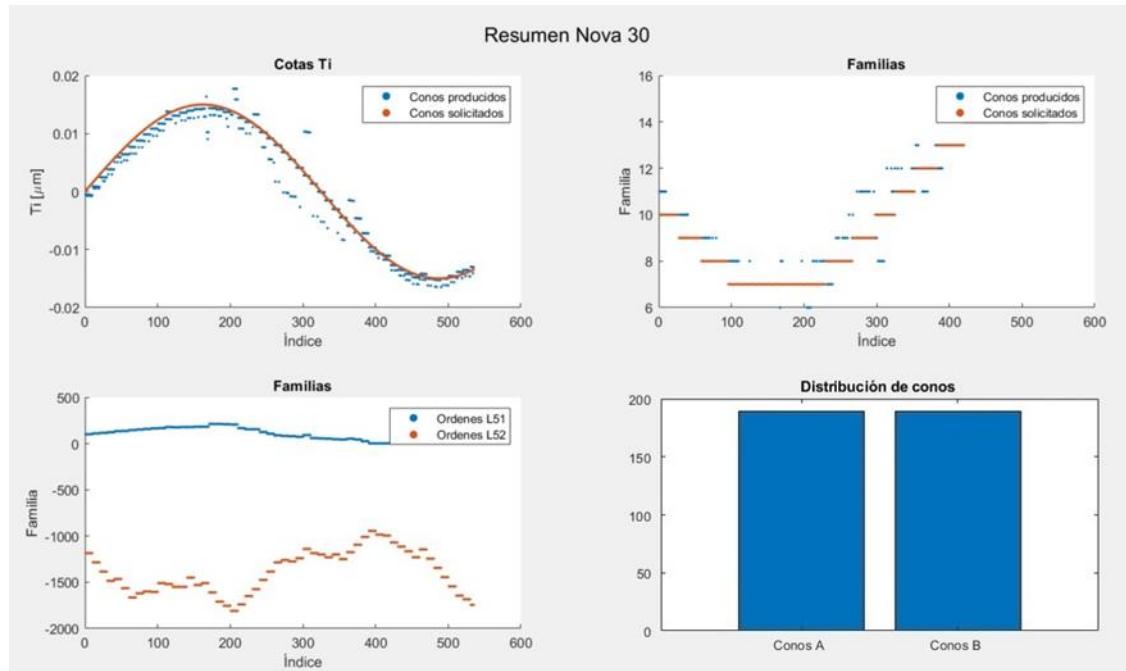
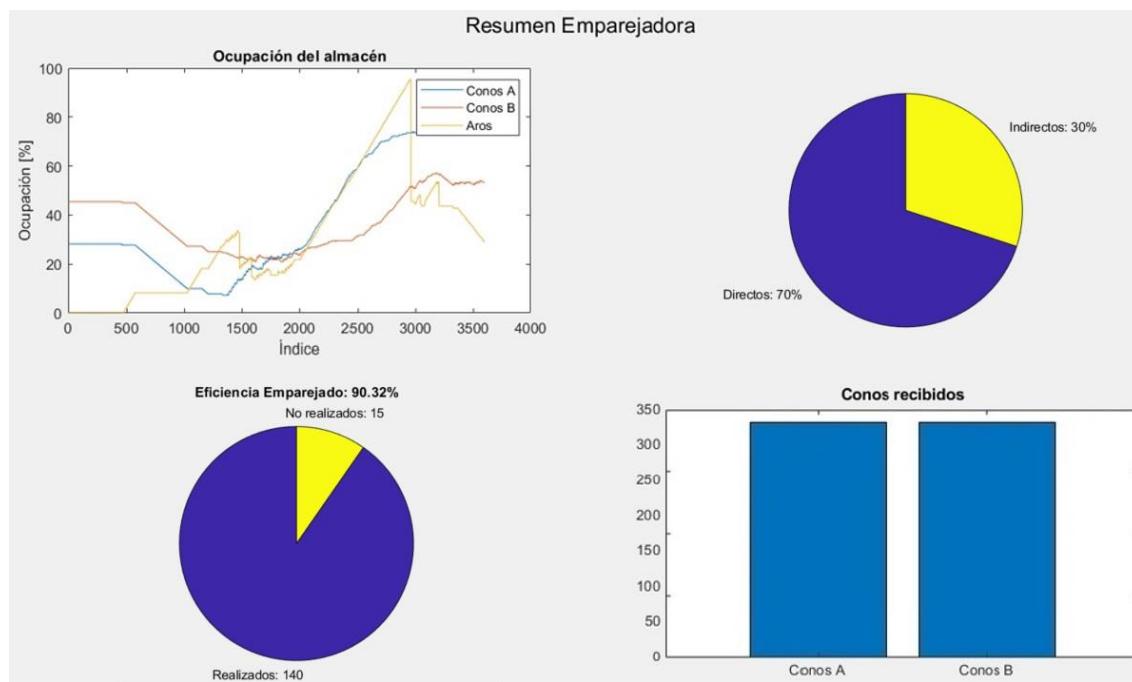
**ILUSTRACIÓN 112 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN****ILUSTRACIÓN 113 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL**

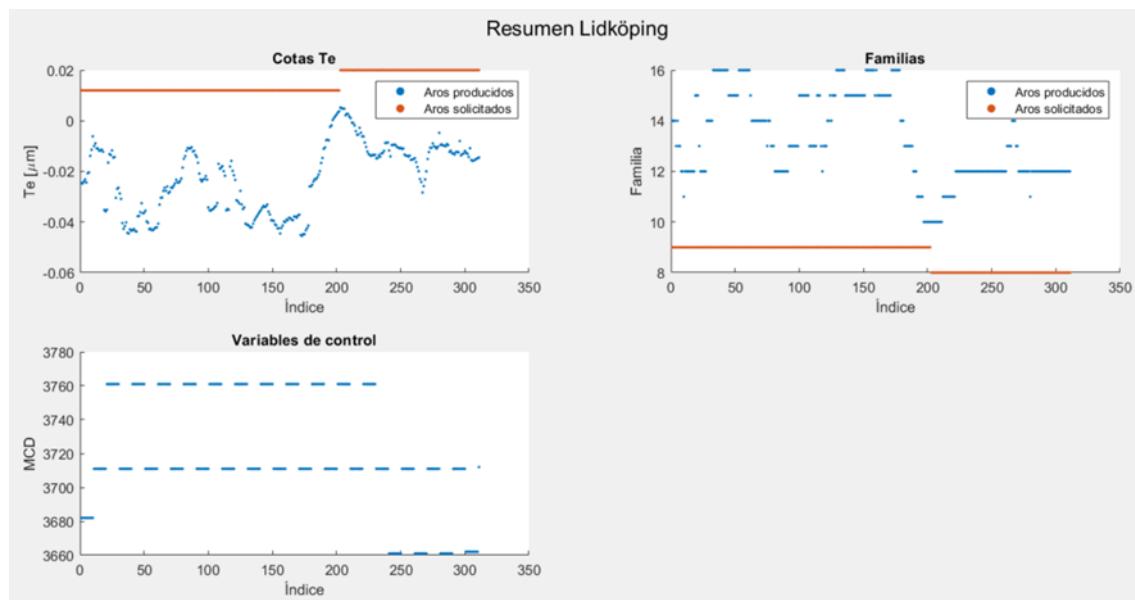
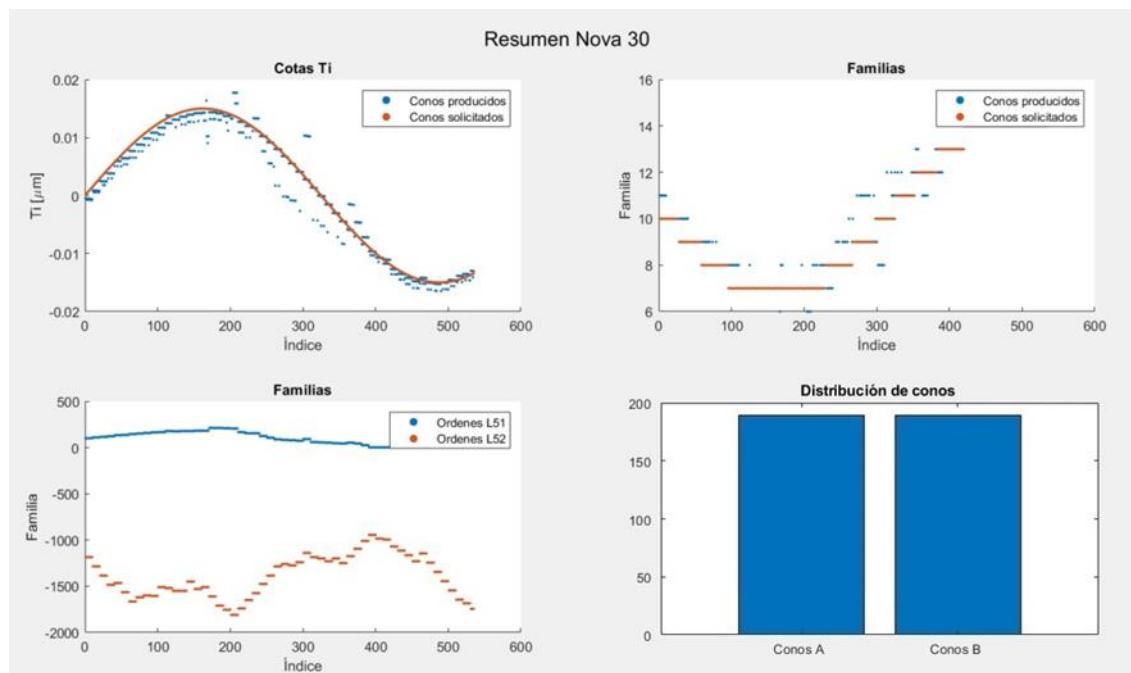
**ILUSTRACIÓN 114 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN****EMparejado recto y en V****ILUSTRACIÓN 115 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN**

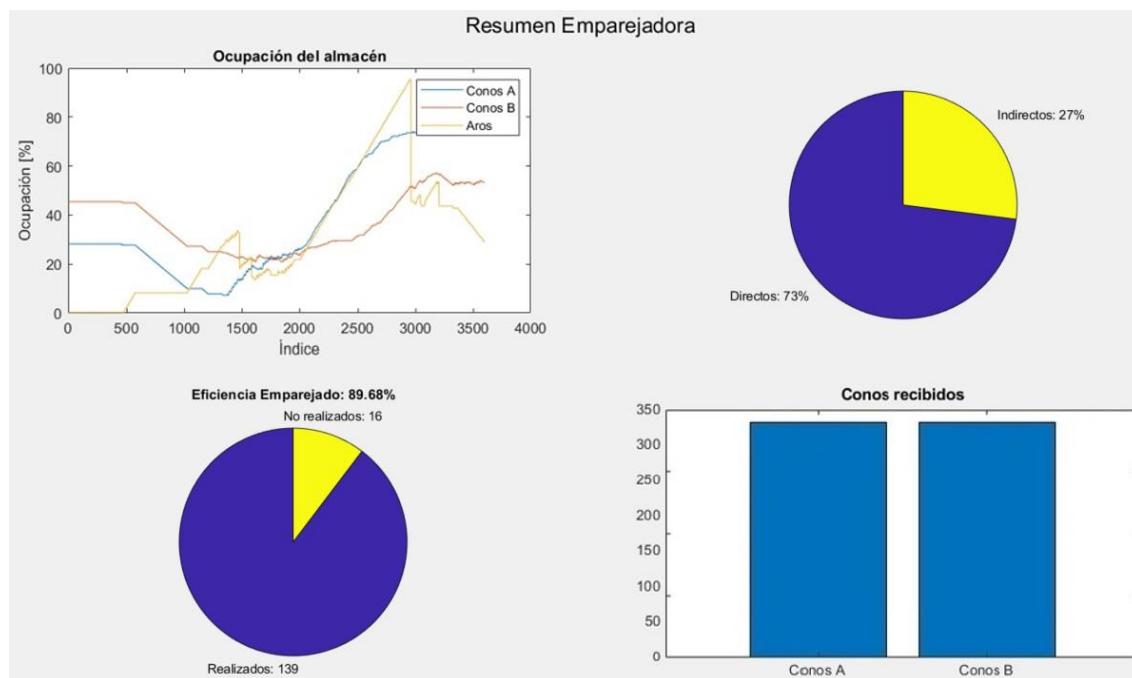
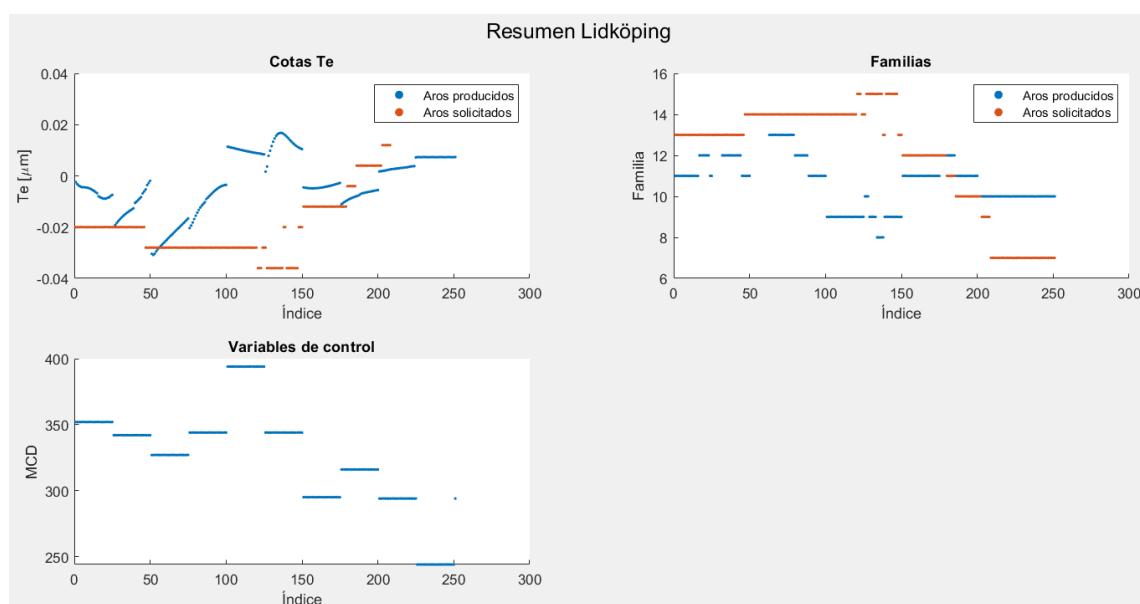
**ILUSTRACIÓN 116 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 117 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN**

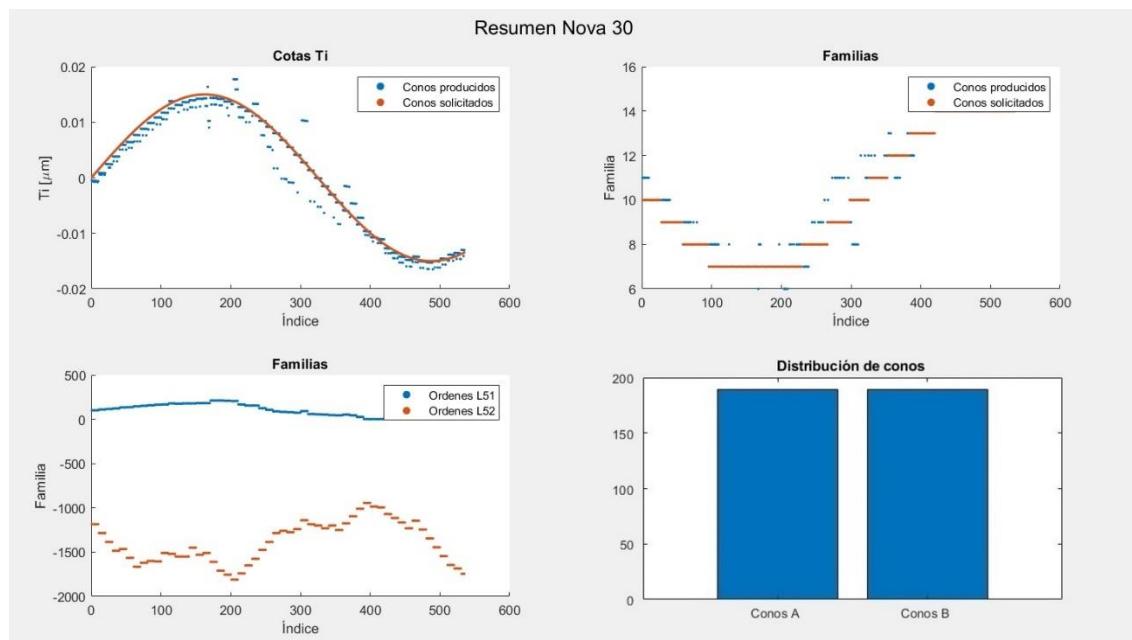
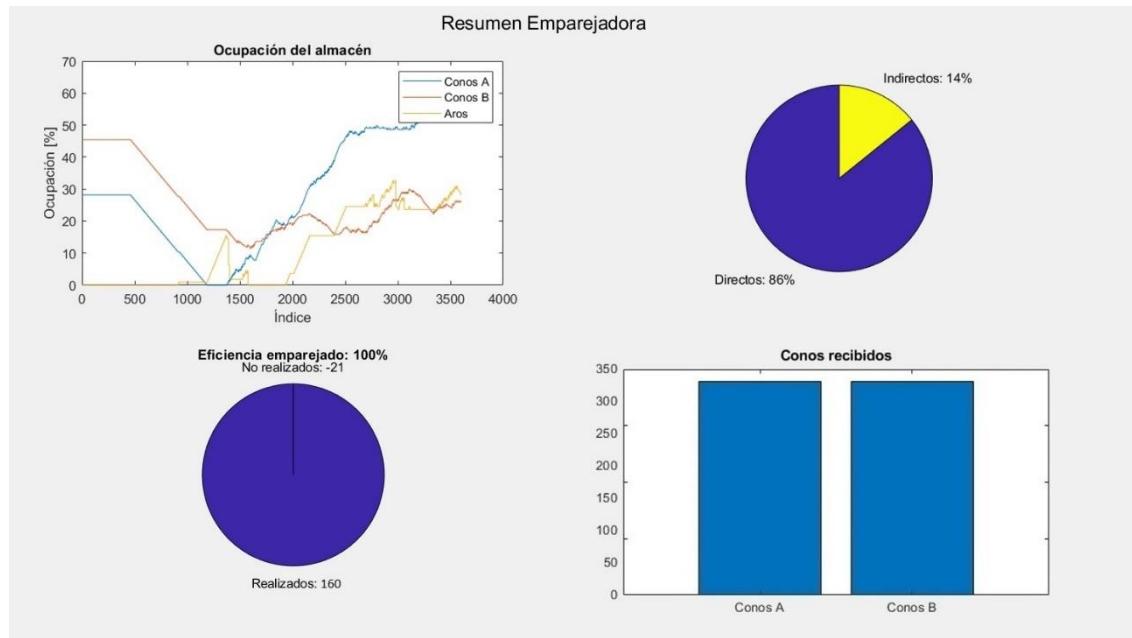
EMPAREJADO EN L Y EN V**ILUSTRACIÓN 118 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN****ILUSTRACIÓN 119 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL**

**ILUSTRACIÓN 120 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN****SOLO EMPAREJADO EN L****ILUSTRACIÓN 121 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN**

**ILUSTRACIÓN 122 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 123 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN**

SOLO EMPAREJADO EN V**ILUSTRACIÓN 124 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN****ILUSTRACIÓN 125 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL**

**ILUSTRACIÓN 126 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN****CAMBIO EN LA FRECUENCIA DE AJUSTE DE LA RECTIFICADORA DE AROS A 25****ILUSTRACIÓN 127 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN**

**ILUSTRACIÓN 128 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 129 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN****CAMBIO EN EL NUMERO DE FACTORES****7 FACTORES**

```

numero_factores_M06 = 7;
num_fact_conosA = 5;
num_fact_conosB = 5;
intervalo_ajuste_M06 = 10;
int_ajuste_M11 = 10;
distribuciones.usar_conos = 1;
distribuciones.distr_ini_conoA = zeros(1,20);
distribuciones.distr_ini_conoB = zeros(1,20);
distribuciones.usar_aros = 0;
distribuciones.distr_ini_aros = zeros(1,20);
patron_conos.A = 15;
patron_conos.T = 650;
estrategia_emparejado.recto = 1;
estrategia_emparejado.L = 1;
estrategia_emparejado.V = 1;

grabar_videos = 0;
mostrar_figuras = 1;

```

ILUSTRACIÓN 130 INFORMACIÓN GENERAL PARA EL GEMELO DIGITAL

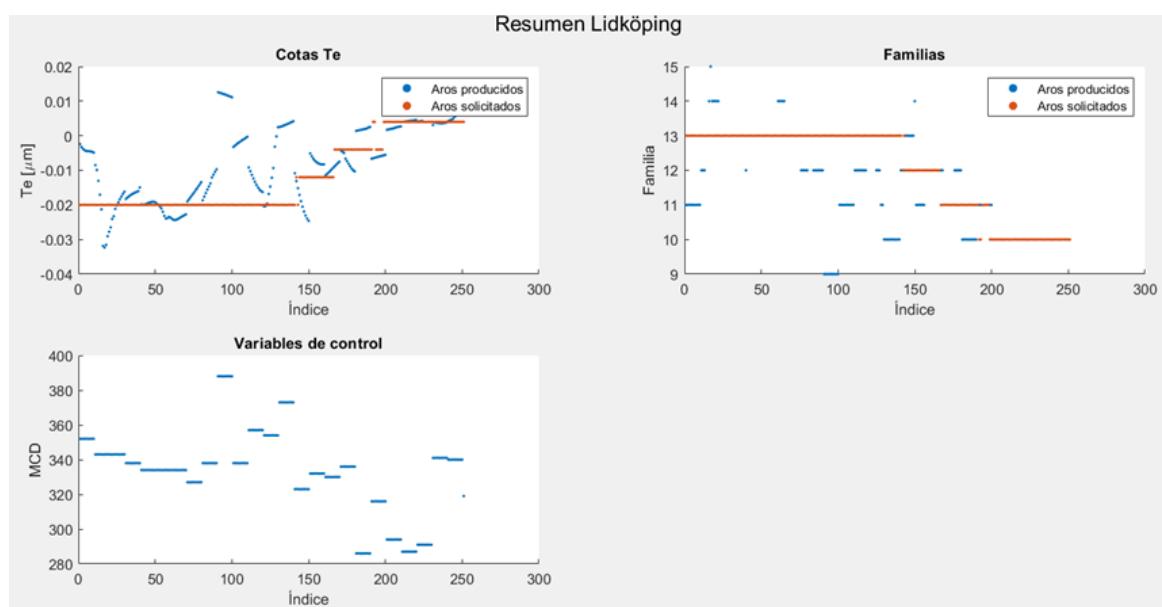
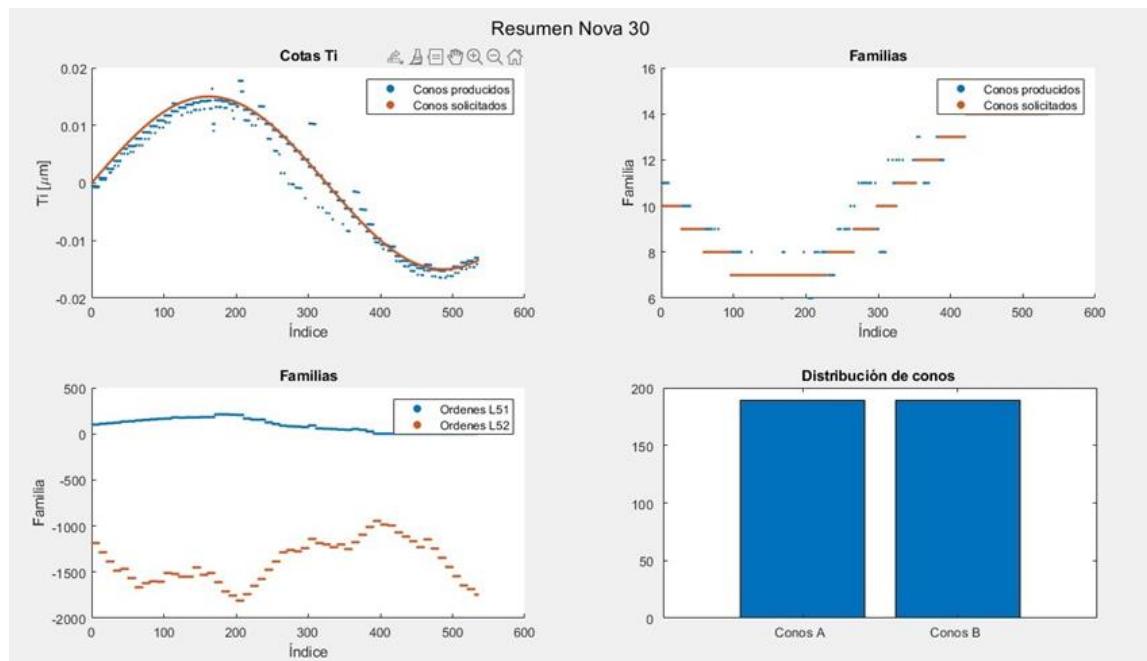
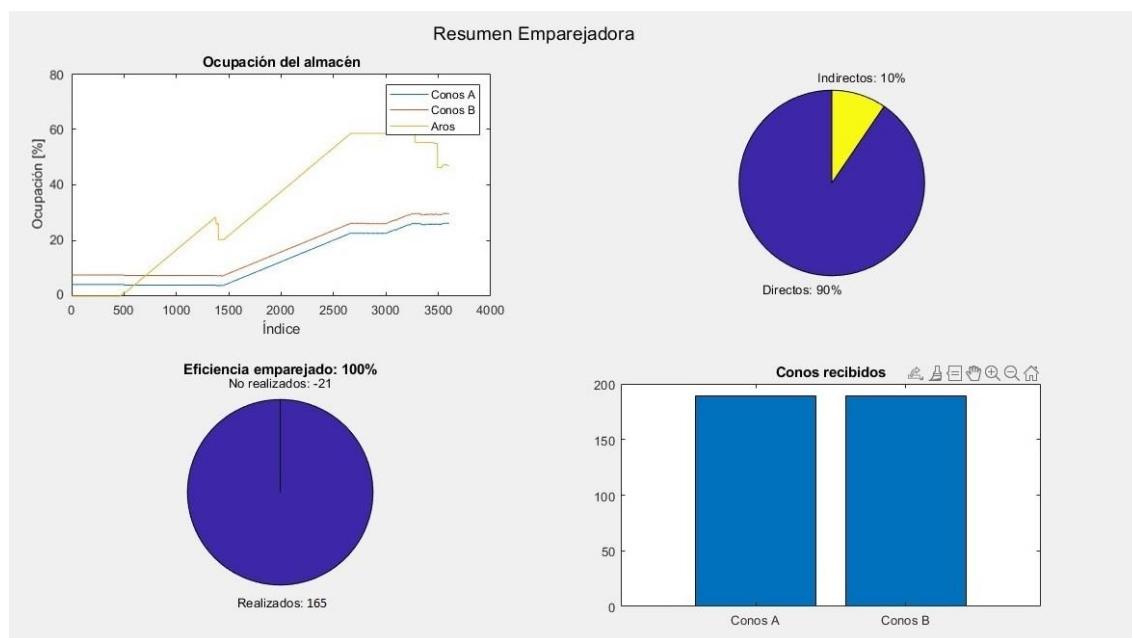
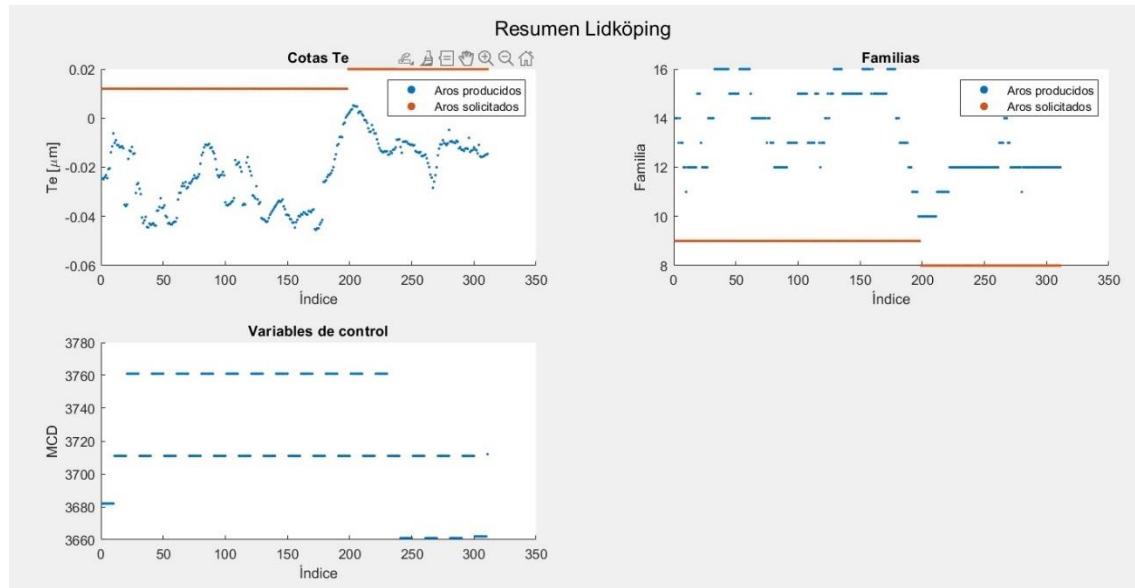
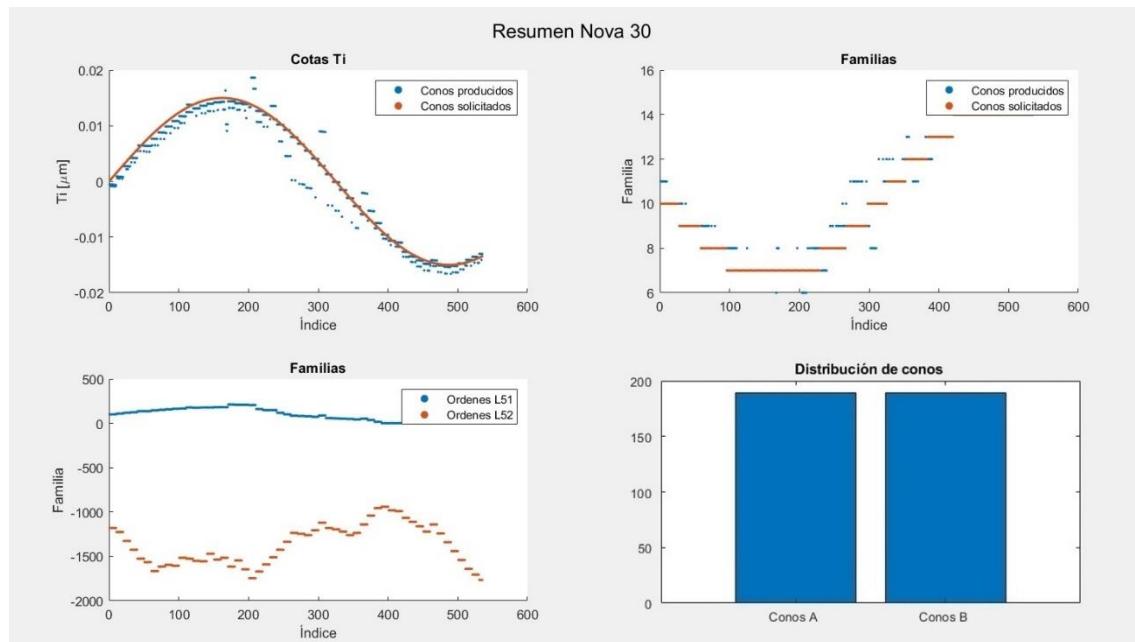
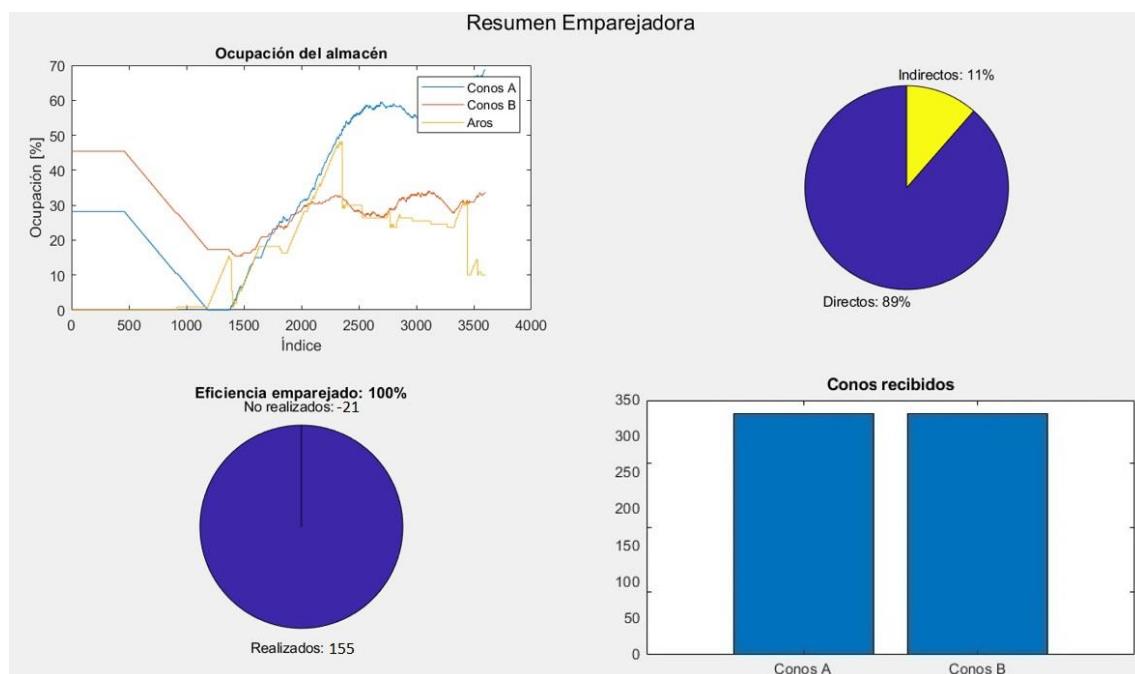
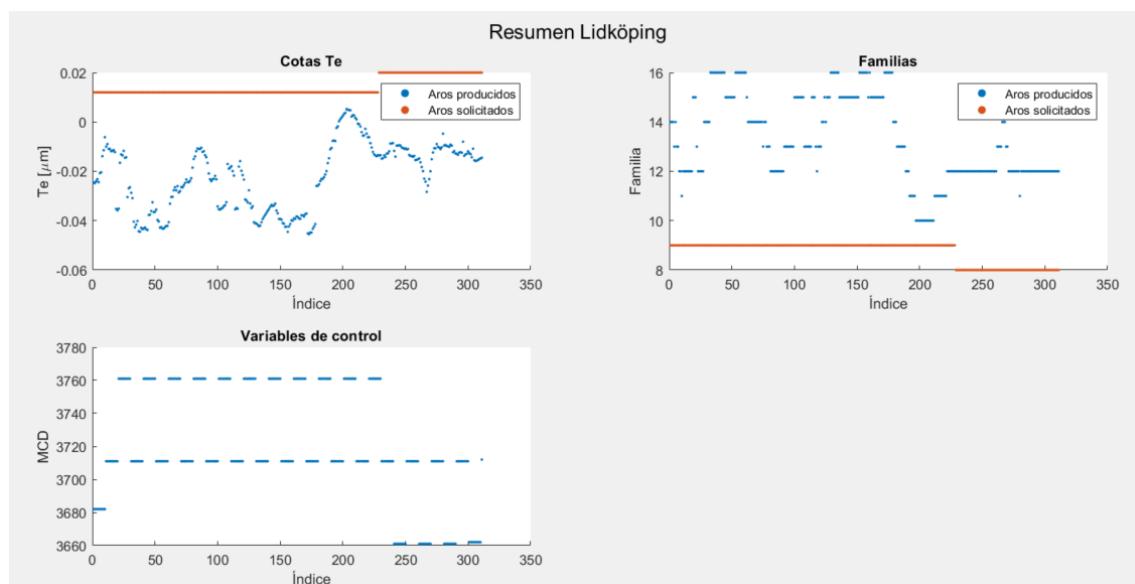
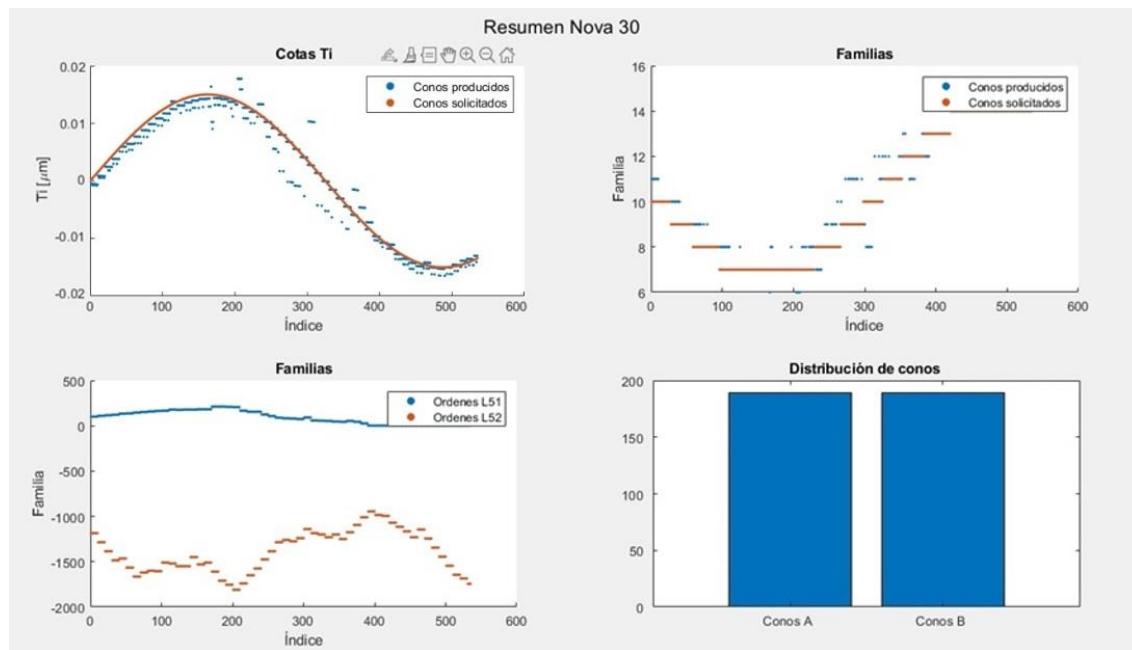
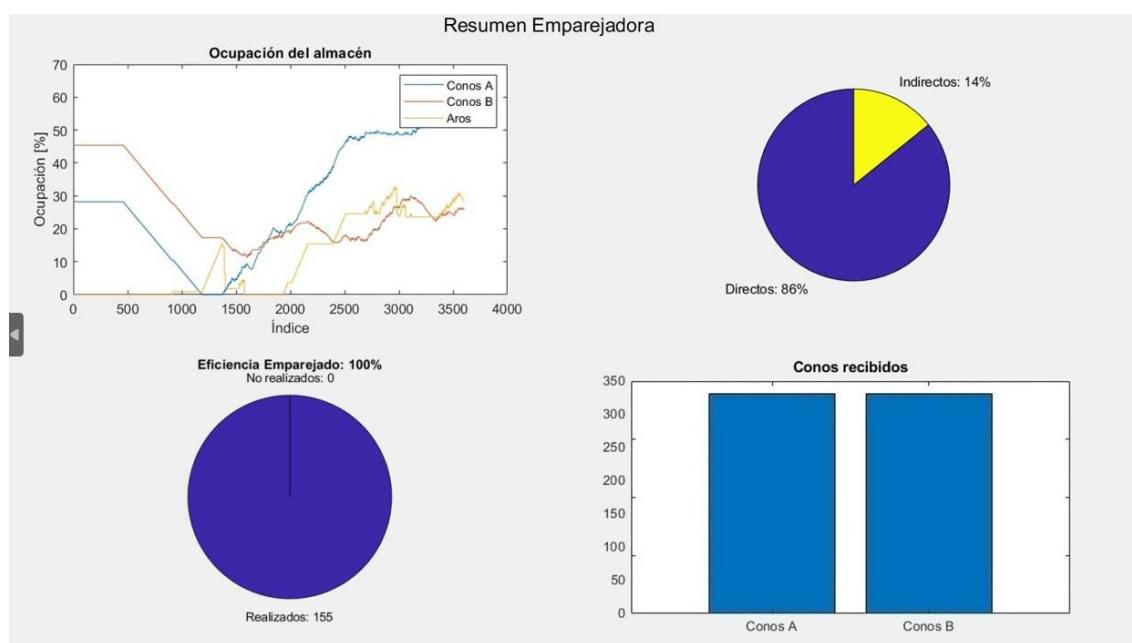


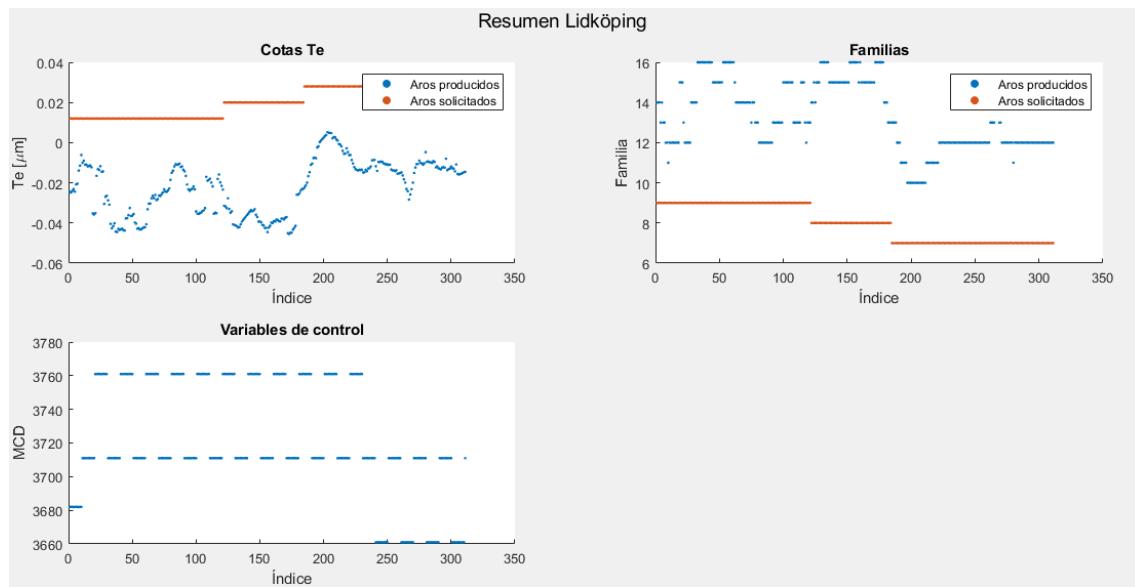
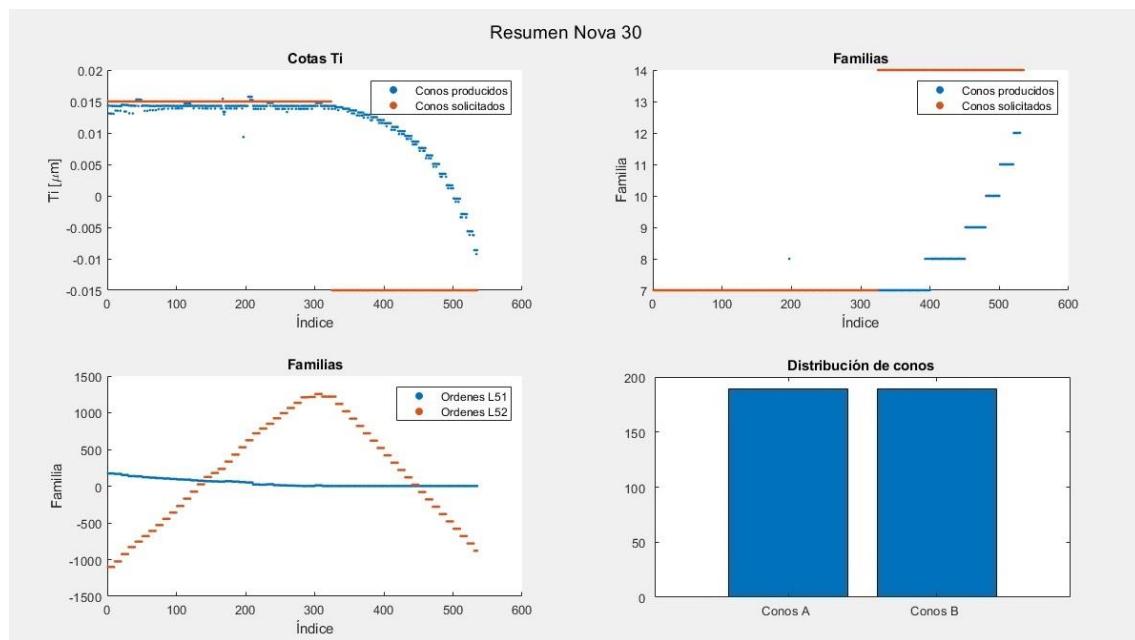
ILUSTRACIÓN 131 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN

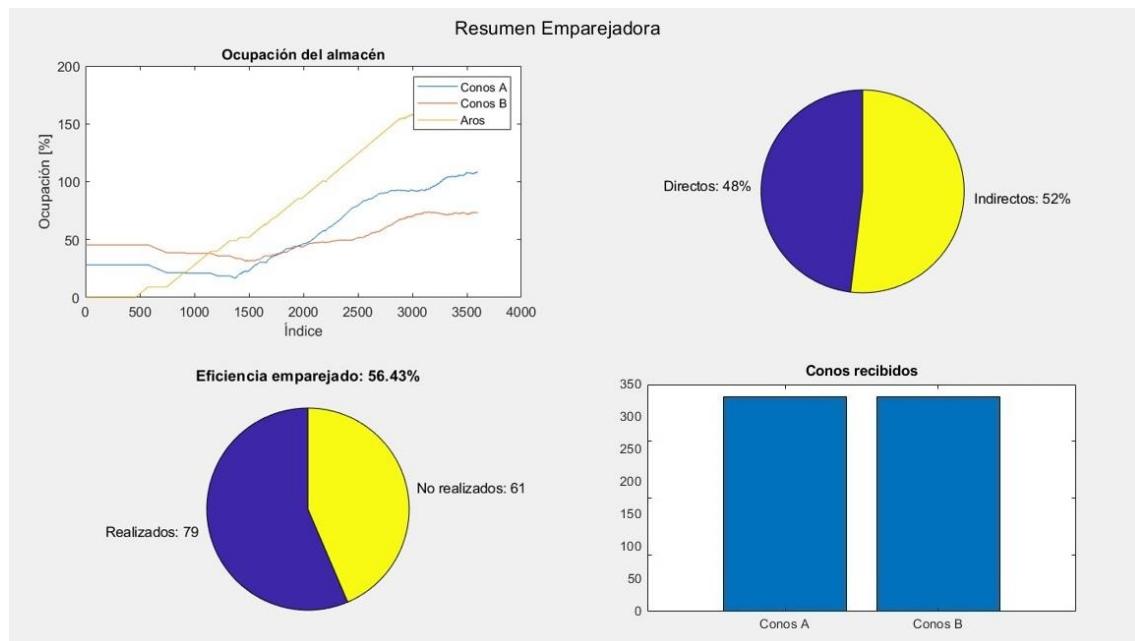
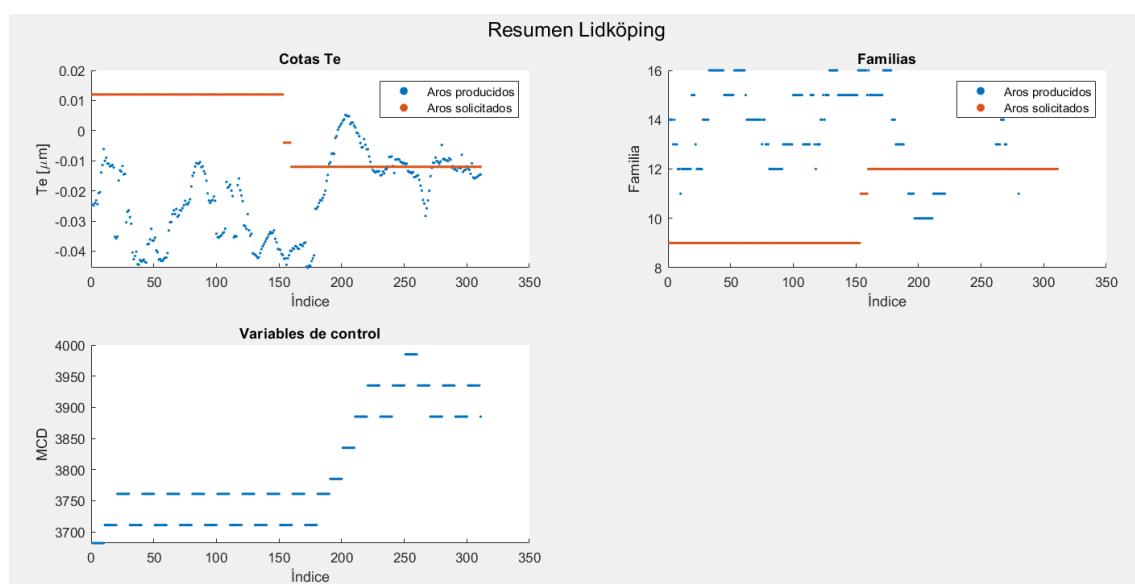
**ILUSTRACIÓN 132 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 133 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN****4 FACTORES**

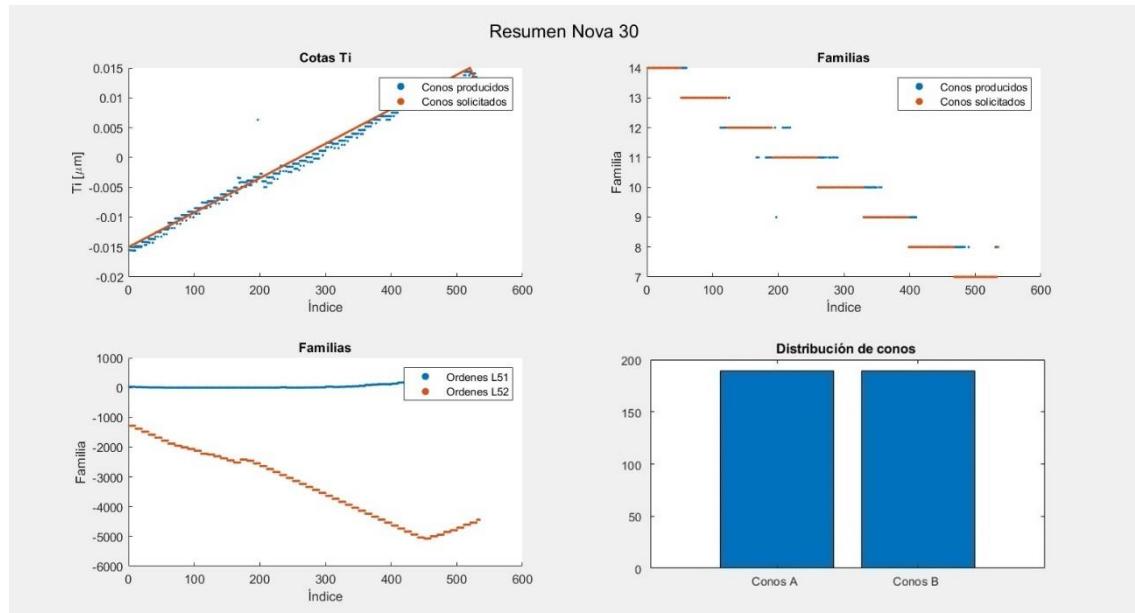
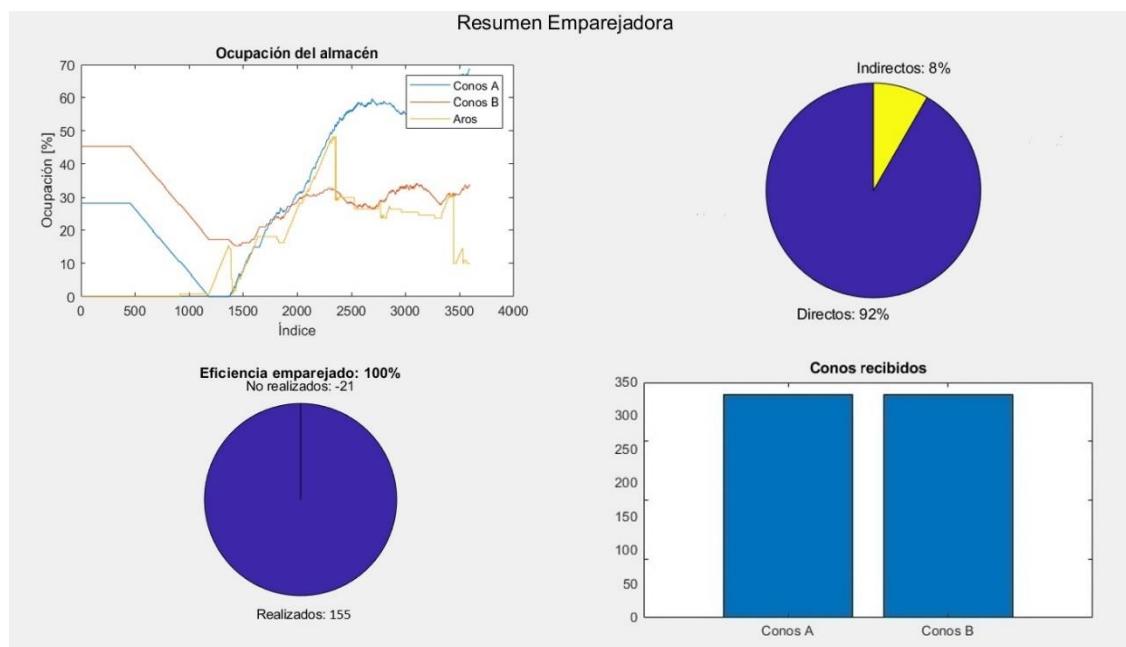
**ILUSTRACIÓN 134 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN****ILUSTRACIÓN 135 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL**

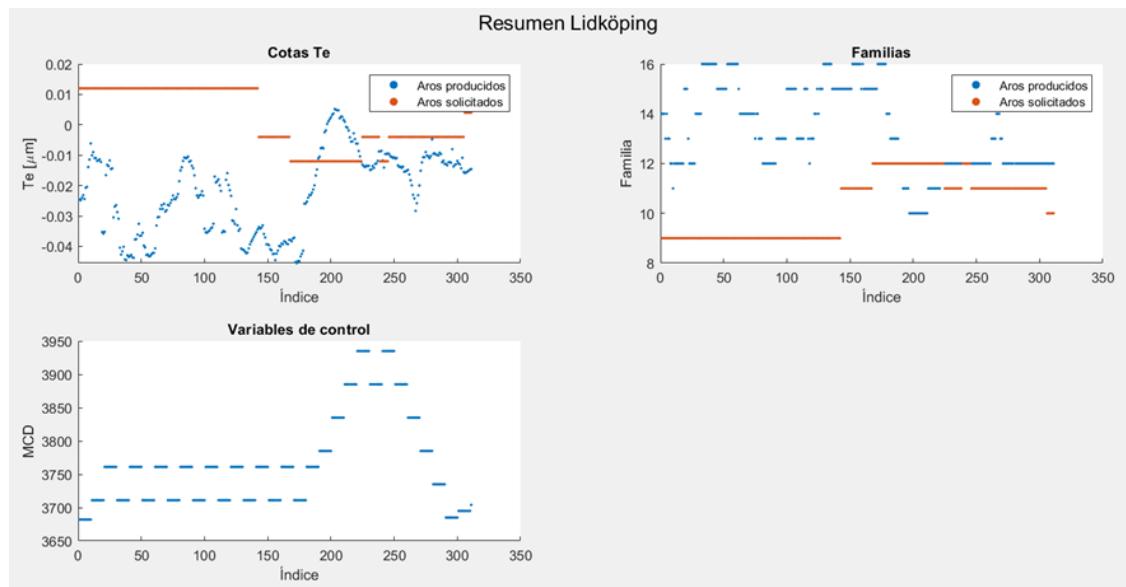
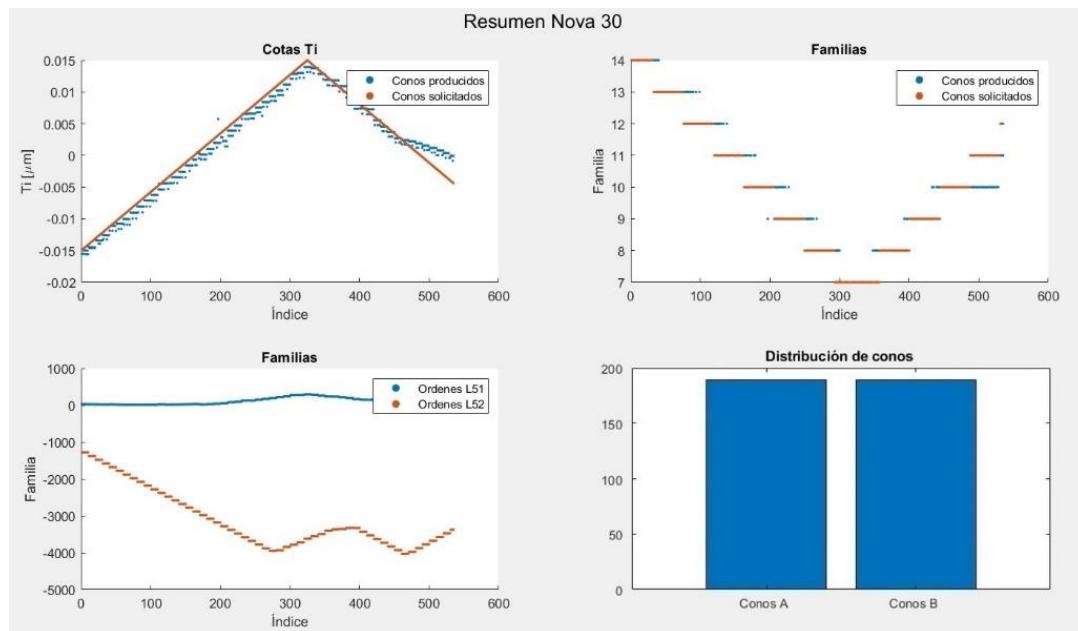
**ILUSTRACIÓN 136 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN****3 FACTORES****ILUSTRACIÓN 137 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN**

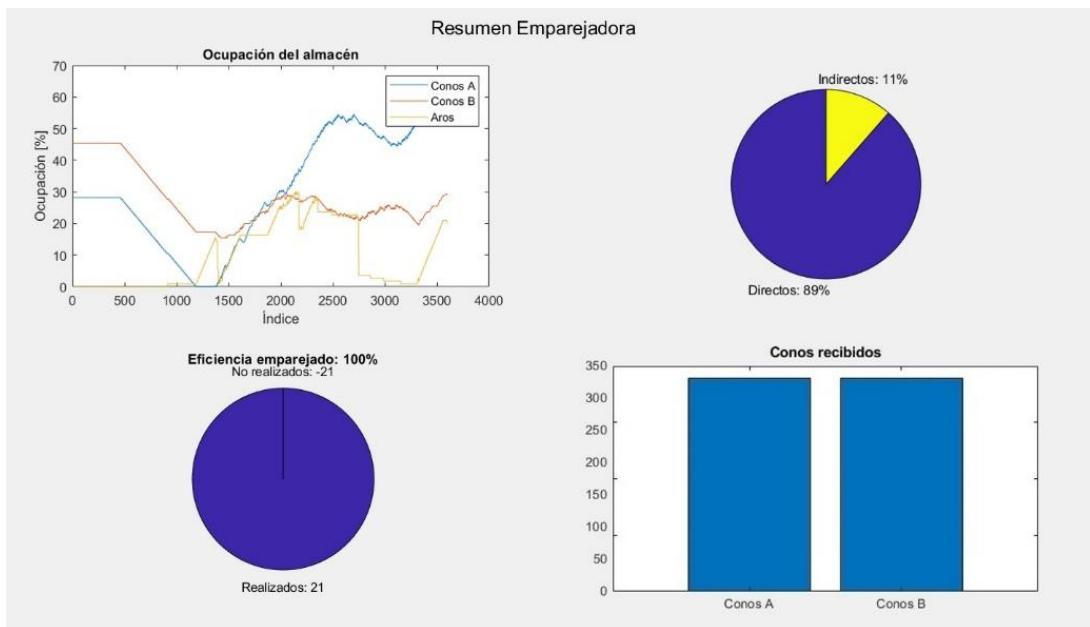
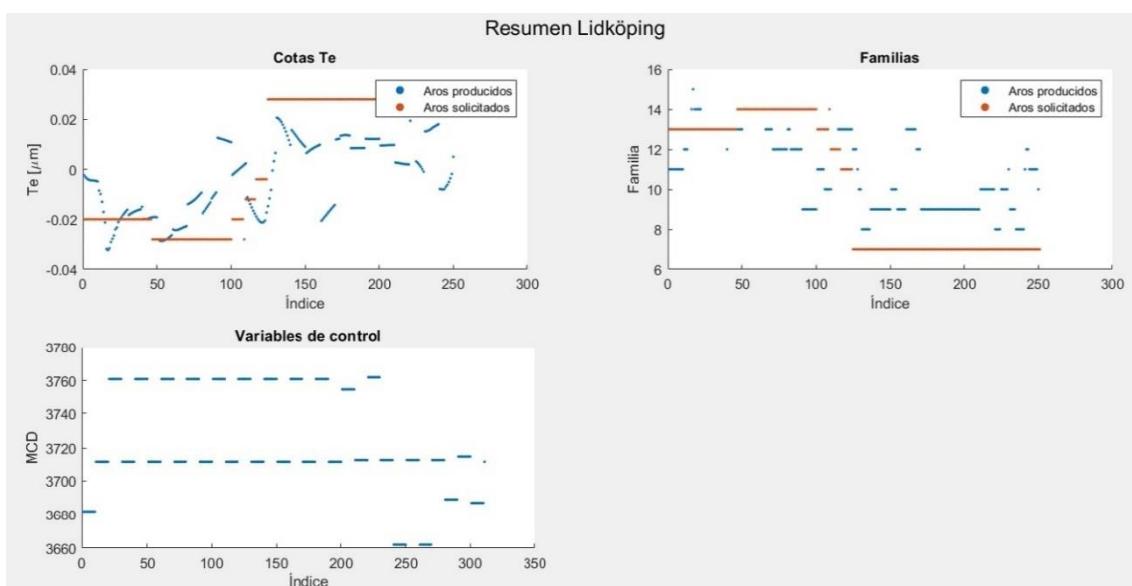
**ILUSTRACIÓN 138 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 139 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN****CAMBIO EN LA DISTRIBUCIÓN DE LOS CONOS****DISTRIBUCIÓN DE ONDA CUADRADA**

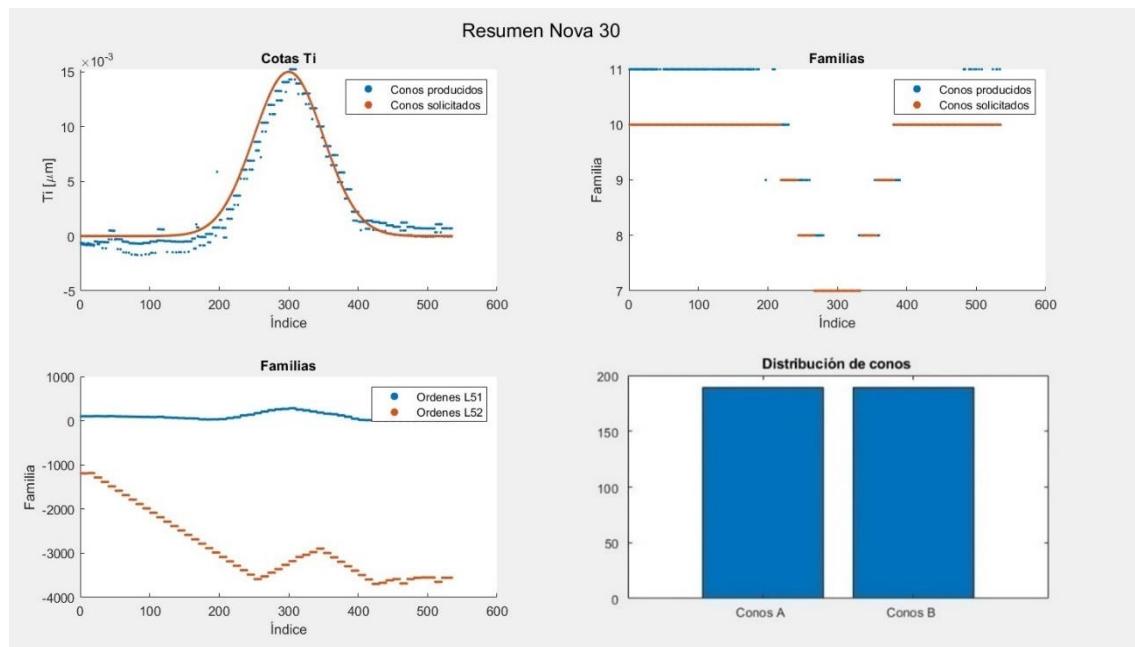
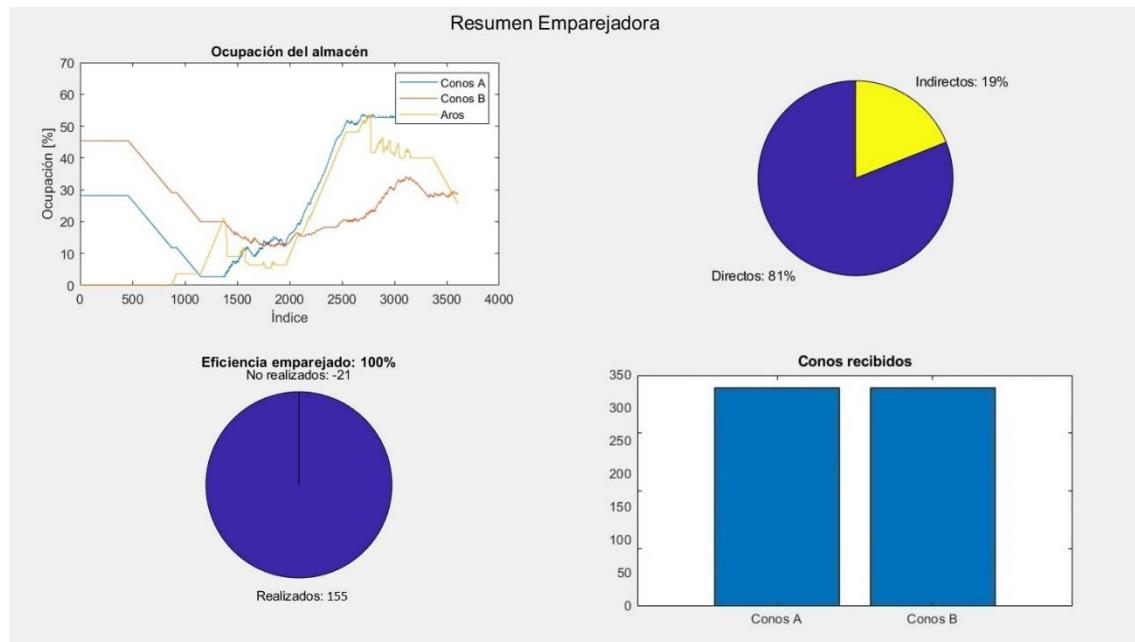
**ILUSTRACIÓN 140 INFORMACIÓN GENERAL PARA EL GEMELO DIGITAL****ILUSTRACIÓN 141 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL**

**ILUSTRACIÓN 142 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN****DISTRIBUCIÓN EN DIENTE DE SIERRA****ILUSTRACIÓN 143 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN**

**ILUSTRACIÓN 144 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 145 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN****DISTRIBUCIÓN TRIANGULAR**

**ILUSTRACIÓN 146 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN****ILUSTRACIÓN 147 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL**

**ILUSTRACIÓN 148 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN****DISTRIBUCIÓN GAUSSIANA****ILUSTRACIÓN 149 RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AROS EN LA SIMULACIÓN**

**ILUSTRACIÓN 150 DISTRIBUCIÓN DE CONOS CON SU FAMILIA Y VARIABLES DE CONTROL****ILUSTRACIÓN 151 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN**

ANEXO 6 SCRIPTS

En este anexo se muestran algunos scripts que se han realizado para el desarrollo del gemelo digital nuevo.

AROS

```
clear; % Borra todas las variables del workspace
clc; % Limpia la consola
close all; % Cierra todas las figuras abiertas
tic;
%Para mezclar dos tablas en MATLAB, donde ambas tienen una columna común
%(por ejemplo, el DataMatrix de las piezas), puedes utilizar la función
%join o innerjoin dependiendo de cómo quieras combinar los datos. Si las
%dos tablas tienen algunas piezas en común y solo quieres mantener las
%filas que coinciden en ambas tablas, puedes usar innerjoin. Si prefieres
%conservar todas las filas y llenar con valores NaN donde no coinciden,
%utiliza outerjoin.

% Suponiendo que tienes dos tablas: tabla1 y tabla2
% y que ambas tienen una columna llamada 'DataMatrix'
%tabla_combinada = innerjoin(tabla1, tabla2, 'Keys', 'DataMatrix');
% Si quieres hacer una unión exterior para mantener todas las filas
%tabla_combinada = outerjoin(tabla1, tabla2, 'Keys', 'DataMatrix',
'MergeKeys', true);
%Ejemplo
% % Tabla 1
% tabla1 = table([1; 2; 3], {'A'; 'B'; 'C'}, 'VariableNames', {'DataMatrix',
'Maquina1'});
%
```

```
% % Tabla 2
% tabla2 = table([2; 3; 4], {'X'; 'Y'; 'Z'}, 'VariableNames', {'DataMatrix',
'Maquina2'});
%
% % Unión de las tablas
% tabla_combinada = innerjoin(tabla1, tabla2, 'Keys', 'DataMatrix');

% Lee el archivo CSV en una tabla
%T1 = readtable('Z3M06_data.xlsx');

% Nombre del archivo de salida
outputFile = 'miArchivo.xlsx';

% Verifica si el archivo ya existe y, si es así, lo elimina
if isfile(outputFile)
    delete(outputFile);
end

opts = detectImportOptions('Z3M06_data.txt');
opts = setvartype(opts, 'dm', 'char'); % 'dm' para leer como texto
% Por ejemplo, puedes elegir las variables específicas que quieras leer
opts.SelectedVariableNames = {'dm', 'timestamp', 'R115', 'R120', 'R121',
'R218', 'R280'};%'R81',
'R62', 'R73', 'R74', 'R75', 'R76', 'R77', 'R78', 'R79', 'R98', 'R100', 'R101', 'R102', 'R
103', 'R104', 'R105', 'R110', 'R111', 'R112', 'R113', 'R114', 'R117', 'R118', 'R126', 'R
127', 'R128', 'R129', 'R130', 'R131', 'R132', 'R133', 'R134', 'R135', 'R136', 'R139', 'R
142', 'R143', 'R144', 'R145', 'R148', 'R152', 'R162', 'R170', 'R174', 'R175', 'R176', 'R
177', 'R178', 'R179', 'R180', 'R181', 'R182', 'R183', 'R201', 'R211', 'R227', 'R228', 'R
231', 'R232', 'R233', 'R249', 'R267', 'R270', 'R271', 'R321', 'R322', 'R323', 'R366', 'R
374', 'R379', 'R451', 'R452', 'R453', 'R480', 'R482', 'R481', 'R611', 'R632', 'R633', 'R
99', 'R202', 'R281', 'R53', }; % Especifica columnas
% Leer solo las primeras n filas si solo necesitas una muestra
%opts.DataLines = [1 1000]; % Leer las primeras 1000 filas
T1 = readtable('Z3M06_data.txt', opts);
%T2.dm = str2double(T2.dm); % Convertir a números no funciona bien!
T1_ordenada = sortrows(T1, 'timestamp');

% calcular deltas de R218 y R280 añadiendo columnas
% Calcular los incrementos entre elementos consecutivos
deltaR218 = [diff(T1_ordenada.R218);NaN]; % El primer valor será NaN porque
no hay incremento antes del primer elemento
% Añadir la columna de incrementos a la tabla
T1_ordenada.DeltaR218 = deltaR218;

% Calcular los incrementos entre elementos consecutivos
deltaR280 = [diff(T1_ordenada.R280);NaN]; % El primer valor será NaN porque
no hay incremento antes del primer elemento
% Añadir la columna de incrementos a la tabla
T1_ordenada.DeltaR280 = deltaR280;

umbral = -0.1; % Definir el umbral
%T1_ordenada(T1_ordenada.DeltaR218 < umbral, :) = []; % Eliminar las filas
donde 'ColumnaX' es menor que el umbral
%T1_ordenada(T1_ordenada.DeltaR218 == 0, :) = []; % Eliminar las filas donde
'ColumnaX' es igual a cero
```

%El problema de los números grandes truncados al leer un CSV se debe a que
%MATLAB puede interpretar esos valores como números en notación científica,

%lo que puede causar pérdida de precisión. Una solución es tratar esos %números como texto en lugar de como valores numéricos, para asegurarte de %que se lean correctamente y luego convertirlos en números de forma manual %si es necesario.

```
%T3 = readtable('Z3M06_data.txt');

opts2 = detectImportOptions('Z3M21_2_data.txt');
opts2 = setvartype(opts2, 'dm', 'char'); % 'dm' para leer como texto
% Por ejemplo, puedes elegir las variables específicas que quieras leer
opts2.SelectedVariableNames = {'dm', 'COTA_TE_OR'}; % Especifica columnas
% Leer solo las primeras n filas si solo necesitas una muestra
%opts.DataLines = [1 1000]; % Leer las primeras 1000 filas
T2 = readtable('Z3M21_2_data.txt', opts2);

% Unión de las tablas
T3 = innerjoin(T1_ordenada, T2, 'Keys', 'dm');
%writetable(T3, 'miArchivo.txt', 'Delimiter', '\t'); % El delimitador '\t' es
% para formato de texto tabulado
writetable(T3, outputFile);

% Encuentra los índices de cambio de muela según la condición en la columna
'Delta'
indicesCambio = find(T3.DeltaR218 >= 0 | T3.DeltaR218 <= -0.1);

% Añade el último índice para capturar hasta el final de la tabla
indicesCambio = [indicesCambio; height(T3) + 1];

% Elimina cualquier archivo previo de 'muela_*.xlsx' para empezar de cero
files = dir('muela_*.xlsx');
for k = 1:length(files)
    delete(fullfile(files(k).folder, files(k).name));
end

% Crea archivos separados para cada subconjunto entre cambios de muela
for i = 1:length(indicesCambio) - 1
    % Extrae el subconjunto de datos para la muela actual
    subTabla = T3(indicesCambio(i)+1:indicesCambio(i+1)-1, :);

    % Genera un nombre de archivo dinámico para cada muela
    nombreArchivo = ['muela_' num2str(i) '.xlsx'];

    % Guarda el subconjunto en un archivo Excel
    writetable(subTabla, nombreArchivo);
end

toc;
```

CONOS

```
clear; % Borra todas las variables del workspace
clc; % Limpia la consola
close all; % Cierra todas las figuras abiertas
tic;
%Para mezclar dos tablas en MATLAB, donde ambas tienen una columna común
```

```

%(por ejemplo, el DataMatrix de las piezas), puedes utilizar la función
%join o innerjoin dependiendo de cómo quieras combinar los datos. Si las
%dos tablas tienen algunas piezas en común y solo quieres mantener las
%filas que coinciden en ambas tablas, puedes usar innerjoin. Si prefieres
%conservar todas las filas y llenar con valores NaN donde no coinciden,
%utiliza outerjoin.

% Suponiendo que tienes dos tablas: tabla1 y tabla2
% y que ambas tienen una columna llamada 'DataMatrix'
%tabla_combinada = innerjoin(tabla1, tabla2, 'Keys', 'DataMatrix');
% Si quieres hacer una unión exterior para mantener todas las filas
%tabla_combinada = outerjoin(tabla1, tabla2, 'Keys', 'DataMatrix',
'MergeKeys', true);
%Ejemplo
% % Tabla 1
% tabla1 = table([1; 2; 3], {'A'; 'B'; 'C'}, 'VariableNames', {'DataMatrix',
'Maquina1'});
%
% % Tabla 2
% tabla2 = table([2; 3; 4], {'X'; 'Y'; 'Z'}, 'VariableNames', {'DataMatrix',
'Maquina2'});
%
% % Unión de las tablas
% tabla_combinada = innerjoin(tabla1, tabla2, 'Keys', 'DataMatrix');

% Lee el archivo CSV en una tabla
%T1 = readtable('Z3M06_data.xlsx');

% Nombre del archivo de salidaA
outputFileA = 'ElArchivoA.xlsx';

% Verifica si el archivo ya existe y, si es así, lo elimina
if isfile(outputFileA)
    delete(outputFileA);
end

% Nombre del archivo de salidaB
outputFileB = 'ElArchivoB.xlsx';

% Verifica si el archivo ya existe y, si es así, lo elimina
if isfile(outputFileB)
    delete(outputFileB);
end

opts = detectImportOptions('Z3M11_A_data.txt');
opts = setvartype(opts, 'dm', 'char'); % 'dm' para leer como texto
% Por ejemplo, puedes elegir las variables específicas que quieres leer
opts.SelectedVariableNames = {'dm', 'timestamp', 'L51', 'L52', 'R35', 'R75', 'R322'}; % Especifica columnas
% Leer solo las primeras n filas si solo necesitas una muestra
%opts.DataLines = [1 1000]; % Leer las primeras 1000 filas
T1 = readtable('Z3M11_A_data.txt', opts);
%T2.dm = str2double(T2.dm); % Convertir a números no funciona bien!
T1_ordenada = sortrows(T1, 'timestamp');

% Número de filas a eliminar
x = 3318;

% eliminar las últimas X filas

```

```

T1_ordenada(end-x+1:end, :) = [];

% disp('Tabla resultante:');
% disp(T1_ordenada);

% calcular deltas de R322 añadiendo columnas
% Calcular los incrementos entre elementos consecutivos
deltaR322 = [diff(T1_ordenada.R322);NaN]; % El primer valor será NaN porque
no hay incremento antes del primer elemento
% Añadir la columna de incrementos a la tabla
T1_ordenada.DeltaR322 = deltaR322;

opts = detectImportOptions('Z3M11_B_data.txt');
opts = setvartype(opts, 'dm', 'char'); % 'dm' para leer como texto
% Por ejemplo, puedes elegir las variables específicas que quieras leer
opts.SelectedVariableNames
{'dm', 'timestamp', 'L51', 'L52', 'R35', 'R75', 'R322'}; % Especifica columnas
% Leer solo las primeras n filas si solo necesitas una muestra
%opts.DataLines = [1 1000]; % Leer las primeras 1000 filas
T2 = readtable('Z3M11_B_data.txt', opts);
%T2.dm = str2double(T2.dm); % Convertir a números no funciona bien!
T2_ordenada = sortrows(T2, 'timestamp');

% Número de filas a eliminar
y = 3272;

% eliminar las últimas Y filas
T2_ordenada(end-y+1:end, :) = [];

% disp('Tabla resultante:');
% disp(T2_ordenada);

% calcular deltas de R322 añadiendo columnas
% Calcular los incrementos entre elementos consecutivos
deltaR322 = [diff(T2_ordenada.R322);NaN]; % El primer valor será NaN porque
no hay incremento antes del primer elemento
% Añadir la columna de incrementos a la tabla
T2_ordenada.DeltaR322 = deltaR322;

opts2 = detectImportOptions('Z3M21_1_A_data.txt');
opts2 = setvartype(opts2, 'dm', 'char'); % 'dm' para leer como texto
% Por ejemplo, puedes elegir las variables específicas que quieras leer
opts2.SelectedVariableNames = {'dm', 'COTA_TI_IR'}; % Especifica columnas
% Leer solo las primeras n filas si solo necesitas una muestra
%opts.DataLines = [1 1000]; % Leer las primeras 1000 filas
T3 = readtable('Z3M21_1_A_data.txt', opts2);

opts2 = detectImportOptions('Z3M21_1_B_data.txt');
opts2 = setvartype(opts2, 'dm', 'char'); % 'dm' para leer como texto
% Por ejemplo, puedes elegir las variables específicas que quieras leer
opts2.SelectedVariableNames = {'dm', 'COTA_TI_IR'}; % Especifica columnas
% Leer solo las primeras n filas si solo necesitas una muestra
%opts.DataLines = [1 1000]; % Leer las primeras 1000 filas
T4 = readtable('Z3M21_1_B_data.txt', opts2);

% Unión de las tablas
T5A = innerjoin(T1_ordenada, T3, 'Keys', 'dm');
%writetable(T3, 'miArchivo.txt', 'Delimiter', '\t'); % El delimitador '\t' es
para formato de texto tabulado

```

```
writetable(T5A, outputFileA);

% Unión de las tablas
T6B = innerjoin(T2_ordenada, T4, 'Keys', 'dm');
%writetable(T3, 'miArchivo.txt', 'Delimiter', '\t'); % El delimitador '\t' es
para formato de texto tabulado
writetable(T6B, outputFileB);

% Concatenar las tablas verticalmente
tablaCombinada = vertcat(T5A, T6B);

% Exportar a un archivo Excel
nombreArchivo = 'Datos Unidos AB.xlsx';
writetable(tablaCombinada, nombreArchivo);

disp(['Archivo Excel creado: ', nombreArchivo]);
```

PÉRDIDA DE PRECISIÓN (Código)

```
% Cargar los datos del archivo Excel
data = readtable('ElArchivoA.xlsx');

% Seleccionar las variables de entrada (inputs) y la salida (output)
inputs = data{:, {'L51', 'L52', 'R35', 'R75', 'DeltaR322'}};
output = data.COTA_TI_IR;

% Configuración
interval_size = 1500; % Tamaño de los intervalos para entrenamiento y prueba

% Dividir los datos en conjuntos de intervalos
n_intervals = floor(size(inputs, 1) / interval_size);
rmse_train_once = [];
rmse_train_iterative = [];

% Estrategia 1: Entrenar una vez hasta cierto punto y probar el resto
% Entrenar con el primer segmento completo
train_end = interval_size; % Número de muestras para el entrenamiento inicial
X_train_once = inputs(1:train_end, :);
y_train_once = output(1:train_end, :);
gpr_once = fitrgp(X_train_once, y_train_once, 'KernelFunction', 'exponential');

% Probar el resto de los intervalos
for i = 2:n_intervals
    X_test_once = inputs((i-1)*interval_size+1:i*interval_size, :);
    y_test_once = output((i-1)*interval_size+1:i*interval_size, :);

    y_pred_once = predict(gpr_once, X_test_once);
    rmse_once = sqrt(mean((y_test_once - y_pred_once).^2));
    rmse_train_once = [rmse_train_once; rmse_once];
end

% Estrategia 2: Entrenar en un intervalo y probar en el siguiente
for i = 1:n_intervals-1
    % Entrenar en el intervalo actual
    X_train_iterative = inputs((i-1)*interval_size+1:i*interval_size, :);
    y_train_iterative = output((i-1)*interval_size+1:i*interval_size, :);

    gpr_iterative = fitrgp(X_train_iterative, y_train_iterative, 'KernelFunction', 'exponential');

    % Probar en el siguiente intervalo
    X_test_iterative = inputs(i*interval_size+1:(i+1)*interval_size, :);
    y_test_iterative = output(i*interval_size+1:(i+1)*interval_size, :);

    y_pred_iterative = predict(gpr_iterative, X_test_iterative);
    rmse_iterative = sqrt(mean((y_test_iterative - y_pred_iterative).^2));
    rmse_train_iterative = [rmse_train_iterative; rmse_iterative];
end

% Graficar los resultados
figure;
plot(2:n_intervals, rmse_train_once, '-o', 'DisplayName', 'Entrenar una vez y probar en intervalos');
hold on;
plot(1:n_intervals-1, rmse_train_iterative, '-x', 'DisplayName', 'Entrenar por intervalo');
xlabel('Número de intervalo de prueba');
ylabel('Error cuadrático medio (RMSE)');
title('Comparación de RMSE: Entrenamiento único vs. por intervalos');
legend('show');
grid on;
```

SIMULACION GLOBAL GD NUEVO DESARROLLADO INSPIRADO EN EL GD ANTERIOR

El código principal (simulación global) es similar al caso antiguo de partida realizado en el proyecto Fandango. Las funciones que utilizan este código principal no son las mismas que en el gemelo digital anterior para una mejor adaptación a los datos nuevos:

Fuente: proyecto Fandango

```

close all;
clear all;
tic
%Información globales de la simulación
cargar_informacion_general;
%Script con parámetros globales para ajustar la simulación

%Leer intervalos con mayor número de piezas y cargar la información
intervalo_M06 = leer_continuidad_rectificadora('Intervalos_NuevaTablaM06');
%Leer mayor intervalo de M06
intervalo_M11 =
leer_continuidad_rectificadora('Intervalos_Datos Unidos AB Nuevo');
%Leer mayor intervalo de M11

M06_data = leer_datos_rectificadora('NuevaTablaM06', intervalo_M06);
%Leer información del intervalo de M06
M11_data = leer_datos_rectificadora('Libro3', intervalo_M11);
%Leer información del intervalo de M11

%Leer algunas variables iniciales necesarias para inicializar la simulación
%(Te inicial, distribuciones en almacen)
[situacion_init, indices_grupos] = buscar_situacion_inicial(M06_data);

%Nivelar la producción hasta un ratio de conos:aros de 2:1
[M06_data, M11_data] = nivelar_produccion(M06_data, M11_data,
situacion_init);
M06_actual = M06_data;
%Las variables "actual" contienen la informacion de las piezas esperando a
ser
M11_actual = M11_data;
%incluidas en la simulación. Por lo tanto evolucionan.

%Leer los tiempos de ciclo y los tiempos de respuesta
[t_M11_A, t_M11_B, t_M06, t_M21_3] = leer_tiempos_ciclo;
%Tiempos de ciclo
[T_aros, T_conos] = leer_tiempos_respuesta;

%Inicializar tiempo total de la simulación
t_total = 5*60*60;
%Unidades en segundos

%Inicializar variables auxiliares
info_M06 = inicializar_M06(numero_factores_M06, intervalo_ajuste_M06,
M06_data, situacion_init); %Información de la máquina M06
info_M11 = inicializar_M11(num_fact_conosA, num_fact_conosB, int_ajuste_M11,
M11_data, patron_conos); %Información de la máquina M11

```

```

info_M21 = inicializar_M21(distribuciones, situacion_init, indices_grupos);
%Información de la máquina M21
corresp_Familias_Te = readtable('InputNuevos/correspondencias_Grupos-
Te.xlsx');
%Equivalencias entre familias y cota
Te
aros_enviados =
array2table(zeros(0,3),'VariableNames',{'Te','Familia','T_llegada'});
%Tabla que almacena los aros en camino a M21
corresp_Familias_Ti = readtable('InputNuevos/correspondencias_Grupos-
Ti.xlsx');
%Equivalencias entre familias y cota
Ti
conos_enviados =
array2table(zeros(0,4),'VariableNames',{'Ti','Familia','Tipo','T_llegada'});
%Tabla que almacena los conos en camino a M21

%Inicializar los videos de control de la simulación
if grabar_videos
    [v1, v2, v3] = inicializar_videos;
else
    v1 = 0; v2 = 0; v3 = 0;
end

%El bucle principal actualiza el estado de las estaciones M06, M11 y M21 en
%función de sus tiempos de ciclo. Cada iteración supone un avance de 5"
%hasta que se recorre todo el intervalo temporal.
for i=0:5:t_total

    %Actualizar estación M06
    [M06_actual, info_M06] = actualizar_M06(i, t_M06, M06_actual, info_M06,
intervalo_ajuste_M06, info_M21, corresp_Familias_Te);
    aros_enviados = envio_aros(info_M06, corresp_Familias_Te, T_aros,
aros_enviados); %Actualizar envío de aros. La variable
"aros_enviados" guarda los aros que están de camino a la emparejadora

    %Actualizar estación M11
    [M11_actual, info_M11] = actualizar_M11(i, t_M11_A, t_M11_B, M11_actual,
info_M11, int_ajuste_M11, corresp_Familias_Ti);
    conos_enviados = envio_conos(info_M11, corresp_Familias_Ti, T_conos,
conos_enviados); %Actualizar envío de conos. La variable
"conos_enviados" guarda los conos que están de camino a la emparejadora

    %Actualizar estación M21
    [info_M21, conos_enviados, aros_enviados] = actualizar_M21(t_M21_3,
info_M21, info_M06, aros_enviados, conos_enviados, corresp_Familias_Te,
estrategia_emparejado);

    %Si no quedan piezas por procesar, terminar la simulación
    if isempty(conos_enviados) && isempty(aros_enviados) &&
info_M21.t_ocupada < -60
        break
    end

    %Si se desea grabar un video, registrar los frames
    if grabar_videos
        evaluar_resultados(info_M06, info_M11, info_M21, grabar_videos, v1,
v2, v3, 0);
    end
end

```

```
%Evaluar resultados mediante gráficos
if mostrar_figuras
    evaluar_resultados(info_M06, info_M11, info_M21, grabar_videos, v1, v2,
v3, mostrar_figuras);
end
toc
%close all;
```