



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Máster

Gemelos digitales en la mejora de los procesos de
verificación de sistemas de fabricación:
Simulación, caracterización y optimización de
articulaciones rotacionales en sistemas de fabricación.

Digital Twins in Enhancing Manufacturing System
Verification Processes:
Simulation, Characterization, and Optimization of
Rotational Joints in Manufacturing Systems.

Autor

Diego Vergara Moreno

Directores

Francisco Javier Brosed Dueso

Juan José Aguilar Martín

Máster Universitario en Ingeniería Mecánica

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
2024



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe remitirse a seceina@unizar.es dentro del plazo de depósito)

D./D^a. Diego Vergara Moreno ,

en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de Estudios de la titulación de Máster Universitario en Ingeniería Mecánica

 (Título del Trabajo)

Gemelos digitales en la mejora de los procesos de verificación de sistemas de fabricación:

Simulación, caracterización y optimización de articulaciones rotacionales en sistemas de fabricación.

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 29/11/2024

Fdo:

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin la ayuda de varias personas e instituciones a las que quiero expresar mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi director, Dr. Francisco Javier Brosed Dueso, y a mi codirector, Dr. Juan José Aguilar Martín, por su orientación, apoyo y disponibilidad durante todo el desarrollo de esta investigación. Su conocimiento y experiencia han sido fundamentales para la realización de este proyecto.

De la misma forma, quisiera expresar mi especial agradecimiento al Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A) y a la Cátedra de Transformación Industrial por su Programa de Becas y Ayudas, que ha financiado parcialmente este estudio. Su apoyo económico ha sido fundamental para el desarrollo de este trabajo, permitiéndome dedicarme por completo a su elaboración.

También quiero expresar mi gratitud a Sergio Aguado Jiménez por proporcionarme ejemplos de código y resolver ciertas dudas durante el proceso de programación. Su ayuda ha sido una de las bases para el desarrollo de este proyecto.

A José Antonio Albajez García, quien me puso en contacto con mis directores e hizo posible mi solicitud de la beca. Sin su intervención, este trabajo no habría sido posible.

A mi familia, pareja y amigos, gracias por su apoyo incondicional y por brindarme la motivación necesaria para seguir adelante. A todos mis compañeros del departamento, gracias por su apoyo y por hacer que el ambiente de trabajo fuera más llevadero.

Finalmente, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todos aquellos que, de alguna manera, han contribuido a la realización de este proyecto.

Gemelos digitales en la mejora de los procesos de verificación de sistemas de fabricación: Simulación, caracterización y optimización de articulaciones rotacionales en sistemas de fabricación.

RESUMEN

La precisión en máquinas-herramienta de 5 ejes es fundamental en la fabricación de componentes complejos y de alta precisión. Sin embargo, la intrincada cinemática y los errores inherentes de estos sistemas pueden afectar la calidad del mecanizado.

Este trabajo se centra en el desarrollo de un **gemelo digital** que permite diseñar, desarrollar y simular ensayos de **verificación volumétrica** de manera segura y sin manipulación física de la máquina. Dichos ensayos, en una fase posterior a este trabajo, se llevarán a cabo de forma física para recopilar datos que realimentarán el algoritmo de simulación.

El gemelo digital desarrollado caracteriza los **errores geométricos** en una **máquina-herramienta de 5 ejes**, considerando su cinemática, geometría y el dispositivo de medición empleado. A diferencia de las máquinas de 3 ejes, cuya relación cinemática directa simplifica la corrección de errores, los sistemas de 5 ejes añaden dos ejes rotativos que introducen combinaciones no lineales en la trayectoria de la herramienta, dificultando la corrección precisa de estos errores. La inclusión del **dispositivo de medición** dentro del espacio de trabajo supone otra dificultad a tener en cuenta, lo que convierte el gemelo digital en una herramienta fundamental antes de llevar la verificación a la práctica.

La propuesta desarrollada comienza con una fase de **exploración** que identifica el espacio seguro de verificación para cada ensayo, generando puntos de medición y trayectorias que garantizan la ausencia de colisiones. En la siguiente etapa, se simula la fase de medición, cuyos datos se ven afectados por funciones sintéticas de error que imitan los errores reales de la máquina. A partir de estos datos, un segundo algoritmo, de forma independiente, trata de **identificar funciones de error** que reduzcan el error volumétrico de la máquina, ya sea causado por las funciones previamente definidas o por los errores intrínsecos de la máquina. Estas funciones de error son posteriormente utilizadas en una fase final de **compensación**, ajustando cada punto para optimizar el posicionamiento y la orientación de la máquina.

Índice

1. Introducción	1
1.1. Alcance	2
1.2. Objetivos	2
1.3. Contenido de la memoria	3
2. Estado del arte	5
2.1. Verificación de Máquinas-Herramienta	5
2.1.1. Verificación Directa	6
2.1.2. Verificación Indirecta	6
2.2. Fuentes de error de una Máquina-Herramienta	7
2.3. Errores Geométricos en una MH de 5 ejes	10
2.3.1. Errores Geométricos en ejes lineales	11
2.3.2. Errores Geométricos en ejes de rotación	13
3. Equipo y elementos disponibles	15
3.1. Máquina-Herramienta	15
3.1.1. HAAS VF-3	16
3.1.2. TRT160	17
3.2. Dispositivo de medición	18
3.3. Software empleado	20
4. Metodología	23
4.1. Modelo Digital	24
4.1.1. Introducción del modelado cinemático y de error	24
4.1.2. Modelo Cinemático introducido	28
4.1.3. Modelo Geométrico introducido	37
4.2. Definición de Ensayos	47
4.2.1. Tipos de Ensayos	47
4.2.2. Detección de colisiones y límites de medición	52
4.2.3. Posicionamiento de la esfera de medición	56
4.2.4. Trayectorias de la máquina	59
4.2.5. Generación de archivos G-code	62
4.3. Identificación y compensación de errores	64

4.3.1. Identificación de PDGE	64
4.3.2. Identificación de PIGE	66
4.3.3. Compensación de errores	69
4.4. Explicación del programa	71
4.5. Interfaz de usuario	75
5. Simulación y resultados	83
5.1. Comparativa de estrategias de identificación de errores	83
5.1.1. Grupo 1	84
5.1.2. Grupo 2	89
5.1.3. Grupo 3	92
5.1.4. Grupo 4	95
5.2. Ejemplo de simulación completa	99
6. Conclusiones y trabajo futuro	103
7. Bibliografía	105
Lista de Figuras	109
Lista de Tablas	111
Anexos	113
A. Estructura de los archivos de texto	115
B. Archivos generados durante el ejemplo de simulación	117

Tabla 1: Acrónimos empleados en la memoria.

Acrónimo	Nombre completo
CMM	Máquina de Medición por Coordenadas
CNC	Control Numérico Computarizado
DM	Dispositivo de Medición
ECE	Errores Cuasi-Estáticos
ED	Errores Dinámicos
EG	Errores Geométricos
ETM	Errores Termo-Mecánicos
GL	Grados de Libertad
GD	Gemelo Digital
HTM	Matriz de Transformación Homogénea
LC	Laser-Tracer
LM	Levenberg–Marquardt
LT	Laser-Tracker
MH	Máquina-Herramienta
PDGE	Position Dependent Geometric Errors
PIGE	Position Independent Geometric Errors
QN	Quasi-Newton
SC	Sistema de Coordenadas
TSB	Ballbar Telescópico de Medición Simultánea
UZ	Universidad de Zaragoza

1 Introducción

En la industria manufacturera actual, sectores como el aeronáutico, automovilístico y sanitario demandan componentes con geometrías complejas y tolerancias muy estrictas. Para satisfacer tal demanda, las **máquinas-herramienta (MH) de 5 ejes** se han convertido en una solución altamente eficiente. Este tipo de sistemas permiten realizar el mecanizado de piezas complejas sin necesidad de modificar la configuración inicial, reduciendo así errores de alineación y optimizando el tiempo de mecanizado.

Sin embargo, la incorporación de **ejes rotativos** en sistemas de este estilo introduce nuevos desafíos que afectan a la precisión y control de calidad de las piezas, lo que exige estudios adicionales en comparación con las profusamente investigadas máquinas de 3 ejes tradicionales. Aunque ya se han realizado estudios sobre sistemas productivos con articulaciones rotacionales que han arrojado información útil sobre las dificultades asociadas a estos sistemas, no se han documentado investigaciones previas que empleen **sistemas telescópicos**, como el que se pretende utilizar, para la **medición simultánea de errores**.

En este contexto, desde el Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza, se ha impulsado este proyecto financiado parcialmente por la Cátedra de Transformación Industrial y el Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón. El objetivo es desarrollar un **gemelo digital** que permita simular la captura de datos de **errores geométricos** utilizando un **Ballbar Telescópico de Medición Simultánea** (TSB, por sus siglas en inglés: *Telescopic-Simultaneous-Ballbar*) [1], un dispositivo innovador diseñado por el mismo departamento de fabricación. Con esta herramienta, se busca optimizar el comportamiento de los ejes de una máquina **HAAS de 5 ejes** situada en el taller de dicho departamento, tratando así de mejorar su precisión de posicionamiento y orientación.

1.1. Alcance

El presente trabajo se centra en el desarrollo de un **Gemelo Digital (GD)** que permite simular la verificación volumétrica de una **MH de 5 ejes**, recreando a su vez el comportamiento del **TSB**, dispositivo que se pretende emplear en la captura de datos. El entorno virtual, modelado en **MATLAB**, replica la cinemática de la máquina, evitando colisiones y posiciones inalcanzables del sistema. Esto permite diseñar los ensayos de forma segura y eficiente, sin necesidad de manipular físicamente la máquina durante esta etapa. Además, mediante **datos sintéticos**, es posible simular los resultados de los ensayos y evaluar la efectividad de los algoritmos utilizados tanto en **identificación** como en **compensación** de errores. Los archivos **G-code** generados durante todo este proceso podrían ser empleados en futuras pruebas físicas, siendo una herramienta robusta que facilitaría en gran medida la identificación y compensación de errores geométricos de la máquina.

Este estudio queda limitado al análisis de datos sintéticos generados en el GD, con el objetivo de validar la aplicabilidad de los métodos propuestos antes de su implementación en un entorno real. Aunque se aborda la **incertidumbre del TSB** permitiendo ver cómo esta puede afectar a los resultados del estudio, la investigación se centra exclusivamente en errores geométricos, excluyendo otros tipos de errores como los dinámicos, termo-mecánicos o de control. Este trabajo de **diseño y simulación** establece una base sólida para la validación en ensayos físicos en etapas futuras. Por tanto, queda fuera del alcance de este proyecto el proceso de captura de datos de forma física y su posterior evaluación en máquina.

1.2. Objetivos

El objetivo fundamental de este trabajo es desarrollar un GD en MATLAB que permita simular la **verificación volumétrica** de una MH de 5 ejes. Dicho modelo debe ser capaz de identificar, caracterizar y compensar los errores geométricos de la máquina mediante **métodos numéricos**, mejorando así la precisión y fiabilidad del sistema. Los objetivos específicos incluyen:

- **Modelar y simular** en un entorno virtual una MH de 5 ejes, que permita introducir errores geométricos de la máquina y realizar la captura de datos con un ballbar telescópico de alta precisión (TSB).

- Implementar **funciones de error** para evaluar su impacto en la precisión de la máquina y en el proceso de identificación.
- Desarrollar **algoritmos de identificación y compensación** de errores geométricos que minimicen las desviaciones en el posicionamiento y la orientación de la máquina.
- Diseñar **ensayos de verificación volumétrica**, optimizando el posicionamiento de la esfera de medición sobre el plato giratorio de la máquina, evitando colisiones y manteniendo trayectorias dentro de límites operativos.
- Generar archivos **G-Code** para llevar a cabo los ensayos de captura de datos y verificación con coordenadas compensadas, aptos para ser empleados en futuras pruebas físicas.
- Documentar y analizar los **resultados de simulación**, evaluando la efectividad de los algoritmos y estableciendo una base para validaciones físicas.

1.3. Contenido de la memoria

La memoria del presente trabajo se organiza de la siguiente manera:

- En el **capítulo 2**, se lleva a cabo el estudio del estado del arte de la verificación de MH de cinco ejes, con las diferentes técnicas e instrumentos que pueden emplearse, además de una introducción a los diferentes tipos de error que hacen necesaria la verificación de estas máquinas.
- En el **capítulo 3**, se describe en detalle la máquina sobre la que se simularán los ensayos de verificación, así como el instrumento de medición utilizado. También se explica el software de cálculo empleado para desarrollar el modelo digital y las distintas estrategias aplicadas para la identificación y compensación de los errores.
- En el **capítulo 4**, se explica cómo se ha construido el programa desarrollado, describiendo las diferentes herramientas que proporciona y cómo utilizarlas.
- En el **capítulo 5**, se explica cómo se ha probado la robustez del software mediante datos sintéticos y se expone un caso de ejemplo de simulación completa con los archivos generados durante el proceso de simulación.
- Por último, en el **capítulo 6** se exponen las conclusiones extraídas del desarrollo de este proyecto, junto con las posibles líneas futuras que se plantean.

En los anexos se incluye la siguiente información adicional:

- En el **anexo A**, se muestra la composición de los archivos de texto que genera o lee el programa, cuya estructura merece ser explicada para hacerla más intuitiva.
- En el **anexo B**, se encuentran los archivos generados durante el ejemplo de simulación planteado en el **capítulo 5**.

2 Estado del arte

La investigación sobre **técnicas de compensación de errores** en máquinas de control numérico no es algo nuevo. En la década de 1970 es posible encontrar estudios que demuestran la efectividad de estas técnicas [2], consolidándose como una **solución rentable** para **mejorar la precisión** de las máquinas. En 1985, impulsado por la revolución digital, se presentó un enfoque innovador en una Máquina de Medición por Coordenadas (CMM) de tres ejes que integraba el cálculo de compensaciones directamente en el software de la máquina [3]. Ese mismo año, también surgieron técnicas de compensación de **errores geométricos** y una primera aproximación para abordar expansiones térmicas de primer orden [4]. De esta forma se dió comienzo a etapas posteriores en las que la **automatización** de los procesos de verificación tomarían gran relevancia.

Debido a esta automatización sufrida en las últimas décadas, el concepto de **GD** ha evolucionado significativamente, especialmente desde su primera introducción realizada por Michael Grieves en 2002 [5]. Pese a esto, ha sido en la última década cuando esta tecnología ha cobrado una relevancia notable, impulsada por la **Industria 4.0** [6]. Los GD pueden definirse como **modelos virtuales** que replican el comportamiento físico de sistemas reales. Su integración en la fabricación avanzada, combinada con el concepto previamente mencionado, ha abierto **nuevas posibilidades** en la compensación de errores en la última década, como los errores térmicos [7] o geométricos [8].

2.1. Verificación de Máquinas-Herramienta

Las técnicas de verificación aplicadas a las máquinas CNC, aunque históricamente dichos avances se han centrado en las CMM, permiten extraer información metrológica a partir de la cual mejorar su comportamiento y precisión, y eso es algo que por naturaleza también se ha extrapolado a las MH.

Las **técnicas de verificación** en sistemas de este estilo se pueden categorizar en dos grandes grupos fundamentales: técnicas **directas**, cuando se consigue medir un error concreto, e **indirectas**, en el resto de los casos [9]. Cada una de estas técnicas

tiene una serie de ventajas y limitaciones específicas que determinan su idoneidad para diferentes contextos de aplicación.

2.1.1. Verificación Directa

La verificación directa, como su nombre indica, se centra en la **medición directa de errores** específicos mediante instrumentos de medición que no requieren un modelo de error previo. Este método permite capturar **errores individuales** en cada eje de la máquina de manera aislada, proporcionando información específica sobre el estado de cada uno de ellos. Dentro de este enfoque, se pueden utilizar sistemas estándar como comparadores, reglas y escuadras, así como sistemas más avanzados, como la interferometría láser, autocolimadores, patrones de bolas o dispositivos de medición que aprovechan las fuerzas gravitacionales [10, 11]. La norma **UNE-ISO 230-1:2014** [12] establece las técnicas para medir los distintos tipos de errores, así como el modo de empleo de los sistemas mencionados.

La ventaja principal de esta técnica es la precisión en la identificación de **errores específicos** de cada eje, lo que facilita la localización y cuantificación precisa de defectos en los componentes de la máquina. Sin embargo, el **tiempo** necesario para realizar este tipo de verificación es elevado, y la **extrapolación** de las correcciones locales al volumen total de trabajo de la máquina resulta ser una tarea compleja. Por lo tanto, en muchas ocasiones es conveniente recurrir a otros tipos de técnicas.

2.1.2. Verificación Indirecta

Por otro lado, la verificación indirecta evalúa errores geométricos y cinemáticos mediante **optimización matemática**, sin intervención directa en cada eje. Este método utiliza **movimientos simultáneos** de varios ejes para capturar desviaciones en las trayectorias trazadas dentro del volumen de trabajo. Aunque muchos de los equipos empleados en verificación indirecta también pueden utilizarse para medición directa, modificando la posición y orientación dentro del volumen de la máquina, la verificación indirecta hace uso de técnicas como la multilateración o el método de “*chase-the-ball*” (persecución de la bola) para identificar desviaciones provocadas por errores de la máquina [11]. Entre los sistemas que pueden emplearse se incluyen palpadores autocentrantes, encoders 2D, dispositivos R-test y ballbars [9, 10, 13]. Sin embargo, los sistemas más comunes suelen basarse en interferometría láser, como los

laser-trackers (LT) o laser-tracers (LC), siendo este último más preciso [14]. Estos últimos requieren técnicas de multilateración, lo que implica realizar múltiples ciclos de medición y, por lo tanto, introduce desventajas en términos de tiempo e imprecisión durante la verificación.

En los últimos años, se ha propuesto un sistema de medición alternativo basado en interferometría para la verificación de sistemas productivos de volumen de trabajo pequeño o mediano [15], donde se utiliza un sistema telescópico mono-brazo que realiza el tracking de forma mecánica, a la que se hará mención en este trabajo como brazo telescópico o **ballbar telescópico**. Esta variante de equipo es más sencilla, económica y adecuada que el uso de LT o LC para sistemas con volúmenes de trabajo de este tipo, ya que no requiere incorporar un sistema de tracking. El sistema de medición que se utilizará en este proyecto (de forma simulada) es una versión más avanzada del diseñado en los últimos años en la Universidad de Zaragoza (UZ) [1]. Este sistema consta de al menos **tres brazos telescópicos** que permiten aplicar un principio de medición basado en **multilateración** láser simultánea. Gracias a su acoplamiento cinemático multipunto [16], la captura de datos para cada ensayo puede realizarse en un **único ciclo**, evitando así los problemas asociados con la necesidad de realizar múltiples ciclos de medición.

Sin embargo, pese a que los métodos indirectos proporcionan una **corrección global** del volumen de trabajo y optimizan el tiempo de verificación, la **precisión local** puede ser **menor** y altamente dependiente de los modelos matemáticos empleados.

2.2. Fuentes de error de una Máquina-Herramienta

La precisión de una MH está influenciada por diversas fuentes de error que afectan directamente la calidad y exactitud de las piezas mecanizadas. Estos errores son generados por diversas causas, cuya influencia variará según la máquina, su diseño, uso y otros factores. Sin embargo, las principales fuentes de error pueden agruparse en errores **cuasi-estáticos** (como los geométricos – sin carga, cinemáticos, de rigidez – con carga y los termo-mecánicos) y en errores **dinámicos** (como la estabilidad dinámica y los errores en el control del movimiento).

Los **errores cuasi-estáticos** (ECE) cambian lentamente con el tiempo, lo que facilita su modelado y compensación. Gracias a que en la actualidad las MH incorporan CNC, la compensación de estos errores es relativamente sencilla. Estos suelen incorporar en mayor o menor medida recursos para la compensación de dichos errores, introduciendo los parámetros correspondientes. Dentro de los ECE, los **errores geométricos** (EG) y los **errores termo-mecánicos** (ETM) parecen tener un mayor impacto sobre la precisión de la máquina, ya que se estima que contribuyen hasta un 70 % del error total en una MH [17].

Los **EG** se deben a imperfecciones en la geometría de los componentes y su ensamblaje, lo que genera desalineaciones y holguras. Estos errores pueden dividirse en dos categorías: los **errores geométricos independientes de la posición** (PIGE, *Position-Independent Geometric Errors*), también conocidos como “*location errors*” [9], que permanecen constantes independientemente de la posición del eje, y los **errores geométricos dependientes de la posición** (PDGE, *Position-Dependent Geometric Errors*), que varían a lo largo del recorrido del eje. Una descripción más detallada de estos errores se encuentra en el apartado 2.3.

Por otro lado, los **ETM** surgen de la expansión y contracción térmica de los componentes de la máquina. Las fuentes de calor pueden ser **internas**, como el calor generado durante el proceso de corte, la fricción entre componentes o el generado por los motores de la máquina, o **externas**, como la temperatura ambiente [9]. La compensación de este tipo de errores, al igual que en el caso de los EG, es una estrategia eficaz que permite mejorar la precisión de la máquina ajustando la trayectoria de la herramienta según las deformaciones térmicas detectadas [18].

Como adición a los EG, la **rigidez** finita de los componentes implica que las cargas estáticas (por ejemplo, el peso de la pieza o de los diferentes elementos de la máquina) también afectan la precisión. Estos toman especial relevancia en máquinas con gran volumen de trabajo o en casos en los que se mecanizan piezas de gran tamaño [10].

Los **errores dinámicos** (ED) se deben a la respuesta indeseada de la máquina ante fuerzas dinámicas generadas durante el mecanizado, las cuales son influenciadas por las **aceleraciones** y **deceleraciones** de los ejes del sistema. Estos son difíciles de predecir y controlar, ya que al contactar la herramienta con la pieza de trabajo se modifican las propiedades de rigidez de la máquina debido a **resonancias estructurales** causadas por el corte [19]. Los ED dependen tanto de las **características dinámicas** de

la máquina (masa, rigidez y amortiguación) como del **sistema de control**, cuya capacidad de respuesta puede ser inferior al ancho de banda del error dinámico y, por tanto, dar lugar a trayectorias indeseadas [10]. Además, estos errores pueden aumentar con el **desgaste** de los componentes, lo que incrementa las **vibraciones** y puede provocar respuestas variables a diferentes velocidades y aceleraciones de avance, incluso para la misma trayectoria de movimiento. De la misma forma, una **fijación inadecuada** de la pieza o el propio **desgaste de la herramienta** también pueden agravar este tipo de errores.

La figura 2.1 muestra de forma general los diferentes ECE (parte superior) y algunas de las causas de los ED (parte inferior). Cabe destacar que estas causas pueden influir tanto en los ECE como en los ED, y viceversa, ya que en la práctica un mismo factor puede ser origen de distintos tipos de error.

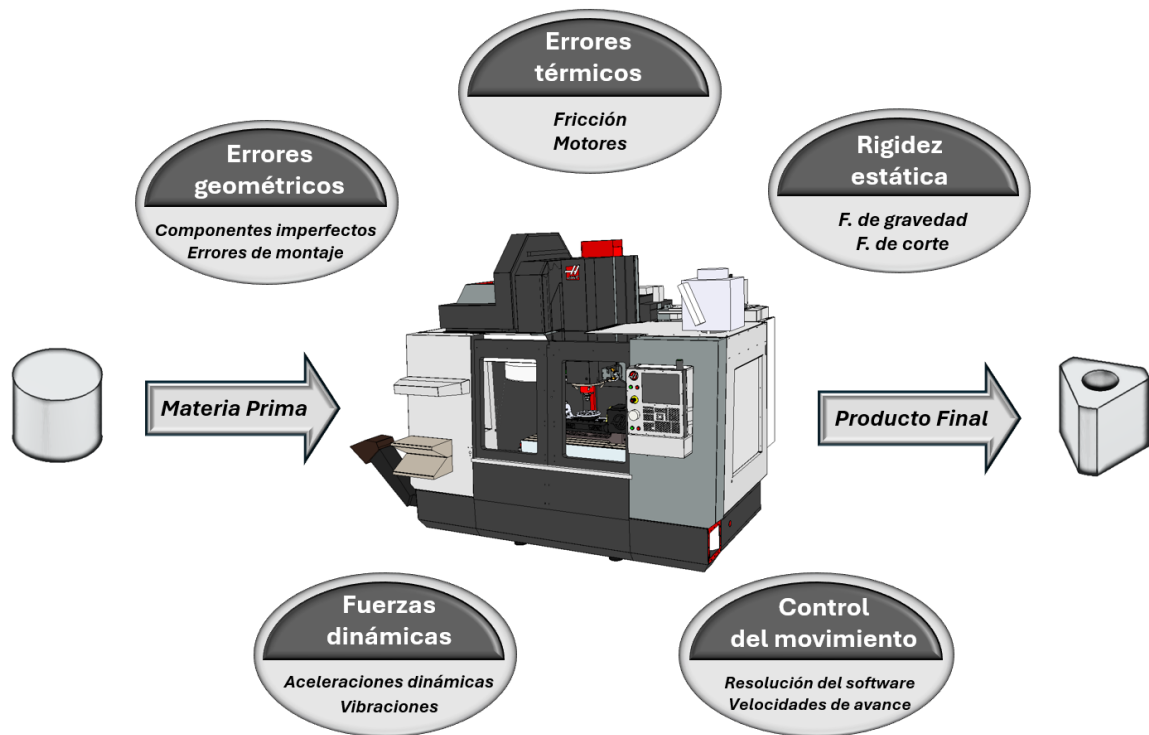


Figura 2.1: Fuentes de error de una MH

En este trabajo se consideran únicamente los EG, que junto con los ETM, como se mencionó previamente, son las principales fuentes de error. Dado que los **EG** aumentan con los **grados de libertad** (GL) de la máquina, una MH de 5 ejes contiene más EG que una convencional con solo 3 ejes de traslación. La incorporación de ejes rotativos añade complejidad a la cinemática, dificultando así la caracterización

y compensación de errores.

Para abordar estos desafíos, los **GD** emergen como una herramienta eficaz para la verificación de estos sistemas, al permitir **simular** el comportamiento y errores de la máquina en un entorno virtual [7, 8]. Esto facilita no solo la **evaluación** del impacto de los EG en la precisión final, sino también el **diseño** de estrategias de compensación de manera segura y eficiente. Además, permite anticipar **colisiones**, reduciendo riesgos y evitando en una primera fase la manipulación física del equipo.

2.3. Errores Geométricos en una MH de 5 ejes

Como se introdujo en el apartado 2.2, los EG en las MH se refieren a desviaciones en la forma, posición y orientación de los componentes de la máquina respecto a sus valores nominales [19]. Se estima que estas desviaciones contribuyen entre el 25 % y 50 % de los errores totales en este tipo de sistemas [17], afectando negativamente la precisión del mecanizado y resultando en piezas con dimensiones incorrectas, superficies irregulares y una calidad general mejorable. Una MH de 5 ejes, por su propia naturaleza, presenta **41 EG** que se clasifican en dos grupos: los **errores geométricos dependientes de la posición** (PDGE) y los **errores geométricos independientes de la posición** (PIGE).

Los **PDGE** se tratan de un tipo de EG cuya **magnitud varía** a medida que un eje se mueve a lo largo de su recorrido [15]. Estos errores se deben a **imperfecciones en la geometría** de los componentes de la máquina, como pueden ser guías lineales, husillos de bolas y cojinetes [10]. Sin embargo, el número de errores que contiene cada eje viene definido por sus GL, resultando en 3 componentes lineales y 3 angulares. Los **errores de desplazamiento lineal** describen la desviación del movimiento real del eje respecto a su trayectoria ideal, tanto en ejes de traslación como de rotación, lo que puede afectar su posición en las direcciones X, Y y Z. Por otro lado, los **errores angulares** describen la rotación no deseada del eje a medida que se mueve, y se conocen como errores de guiñada, balanceo y cabeceo [9].

Los **PIGE**, en cambio, son desviaciones en la posición y orientación de los componentes de una MH respecto a sus valores nominales; estos son **constantes**, permaneciendo inalterados ante desplazamientos del eje en movimiento. Estos errores suelen originarse por imperfecciones durante el ensamblaje de la máquina

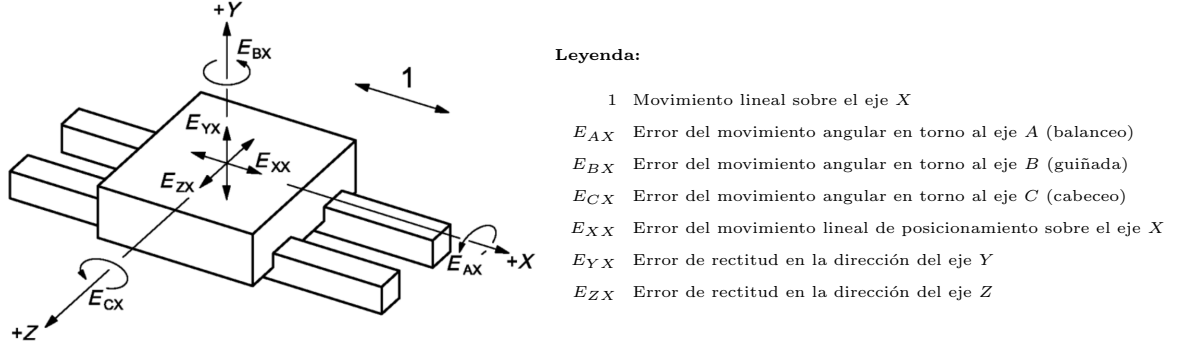
y, en máquinas de mayores dimensiones, pueden llegar a tener un mayor impacto en la precisión que los PDGE. Entre los PIGE se encuentran los errores de **perpendicularidad**, que corresponden a desviaciones angulares entre ejes que idealmente deberían ser perpendiculares, como los ejes X, Y y Z; los errores de desplazamiento u **offset**, que representan desviaciones lineales de un eje rotativo respecto a su posición ideal; y los errores de **paralelismo**, que se refieren a las desviaciones angulares entre dos ejes que deberían ser paralelos, generalmente observados entre un eje de traslación y uno de rotación [17].

2.3.1. Errores Geométricos en ejes lineales

Los EG en ejes lineales, tal como se recogen en la norma **UNE-ISO 230-1:2014** [12] se definen como los movimientos lineales y angulares no deseados que se producen en un componente programado para seguir una trayectoria lineal recta. Como ya se ha mencionado, estos errores se dividen en dos grupos principales, los PDGE y los PIGE. En una MH con **3 ejes lineales** en direcciones X, Y y Z, se identifican un total de **18 PDGE** (6 por cada eje, ya que cada GL genera un error asociado) y **3 PIGE**, que corresponden a los errores de perpendicularidad entre los ejes.

Los **PDGE** en un eje lineal pueden clasificarse, en función de los 6 GL asociados a cada eje, en dos categorías principales: errores de traslación y errores de rotación. Los **errores de traslación** incluyen tres componentes: el **error de posición**, que describe la diferencia entre la posición programada y la posición real alcanzada por el componente móvil en la dirección del movimiento, y los dos **errores de rectitud**, que representan las desviaciones del movimiento en las dos direcciones perpendiculares a la del movimiento nominal. Por otro lado, los **errores de rotación** también comprenden tres componentes: el error de **balanceo**, que corresponde al giro alrededor del eje de movimiento, y las desviaciones angulares conocidas como **guiñada** y **cabeceo**, que ocurren alrededor de los dos ejes perpendiculares al eje de movimiento. La figura 2.2 muestra la dirección de movimiento de los diferentes PDGE asociados a un eje de traslación que se desplaza en la dirección X, de forma análoga se identifican los errores de los ejes Y y Z, completando así los **18 PDGE** de una MH con tres ejes lineales.

Los **PIGE**, en cambio, describen desviaciones angulares entre las trayectorias rectilíneas de referencia asociadas a los movimientos lineales de dos ejes principales de traslación. Estos ejes, nominalmente ortogonales, presentan en la realidad un **error de perpendicularidad**. Dado que existen tres ejes de traslación, se definen **tres errores**



Nota: X, Y, Z indican traslación, mientras que A, B, C las rotaciones sobre estos.

Figura 2.2: Errores del movimiento angular y lineal de un componente programado para moverse a lo largo de una línea recta (nominal) paralela al eje X. [12]

de perpendicularidad: S_{xy} , S_{zy} y S_{zx} , donde la primera componente corresponde al eje de medición y la segunda al eje de referencia. La norma UNE-ISO 230-1:2014 [12] establece que el signo del error de perpendicularidad sigue la regla de giro de la mano derecha, según ISO 841:2001 [20]. Sin embargo, también menciona que este criterio de signos aplicado a los errores de perpendicularidad puede dar lugar a confusiones debido a la inversión del signo cuando se intercambian el eje de referencia y el eje de medición. Para evitar ambigüedades, se recomienda acompañar los valores con descripciones adicionales como “mayor de 90° ” o “menor de 90° ”. En este trabajo, se adopta la **convención** de que un **error positivo** indica un **ángulo de apertura** (mayor a 90°) entre los ejes, mientras que un **error negativo** representa un **ángulo de cierre** (menor a 90°). Este criterio garantiza una interpretación clara y unívoca de los signos del error de perpendicularidad.

La figura 2.3 muestra un ejemplo que explica cómo **interpretar el error** de perpendicularidad utilizando el criterio adoptado en este proyecto. El valor del error de perpendicularidad entre los ejes X y Z se calcula sumando los valores de los ángulos $\theta_{Z,ZX}$ y $\theta_{X,ZX}$, considerando sus respectivos signos. En cuanto a la interpretación de dichos signos, y siguiendo el criterio definido en la norma (basado en la regla del giro de la mano derecha), $\theta_{Z,ZX}$ toma un valor positivo, mientras que $\theta_{X,ZX}$ toma un valor negativo. Sin embargo, aplicando el **criterio utilizado** en este proyecto para el cálculo de la perpendicularidad, tanto $\theta_{Z,ZX}$ como $\theta_{X,ZX}$ se interpretan como ángulos que reducen el ángulo formado por los ejes X y Z. En consecuencia, **ambos ángulos** se consideran **negativos**, lo que da como resultado un **error de perpendicularidad negativo** al sumarlos.

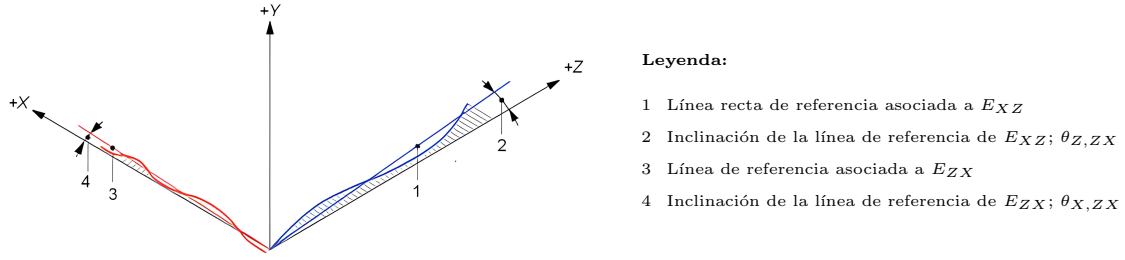


Figura 2.3: Perpendicularidad entre los movimientos lineales de los ejes X y Z . [12]

2.3.2. Errores Geométricos en ejes de rotación

Los EG en ejes de rotación, están definidos dentro de la norma **UNE-ISO 230-7:2008** [21] como las desviaciones no deseadas en la posición y orientación del eje de rotación con respecto a su línea media ideal. Al igual que los ejes lineales, estos también se dividen en PDGE y PIGE. No obstante, dado que las MH de 5 ejes solo contienen dos ejes de giro, poseen únicamente **12 PDGE**, 6 por cada eje. En cuanto a los PIGE, cada eje de rotación tiene 4 errores, de los cuales 2 corresponden a errores de posicionamiento y 2 a errores de orientación, sumando un total de **8 PIGE** en una MH de 5 ejes.

Los **PDGE** en un eje de rotación se clasifican de manera similar a los de los ejes lineales, ya que estos también están asociados a los 6 GL del eje. Por tanto, las categorías y direcciones de los errores son equivalentes a las de los ejes lineales, descritas en el apartado 2.3.1. Sin embargo, la denominación de estos errores varía. Las tres componentes de los **errores de traslación** incluyen: el **error de movimiento axial**, que es un desplazamiento lineal que es coaxial con la línea media del eje, y los dos **errores de movimiento radial**, cuyo movimiento se produce en una dirección perpendicular a la línea media del eje, en una ubicación axial específica. Por otro lado, los **errores de rotación** se dividen en: el **error de posicionamiento angular**, que es el movimiento no deseado a lo largo de la dirección de rotación que se produce en la posición angular local alcanzada en el punto funcional, diferente a la posición local programada, y los **errores de movimiento pendular**, que son dos errores de movimiento angular asociados a las componentes de giro perpendiculares a la línea media del eje.

En la figura 2.4 se muestran las direcciones de movimiento de los diferentes PDGE asociados a un eje de rotación que gira en la dirección C . De manera análoga, pueden identificarse los errores correspondientes al eje A , completando así los 12 PDGE presentes en una MH con dos ejes de rotación.

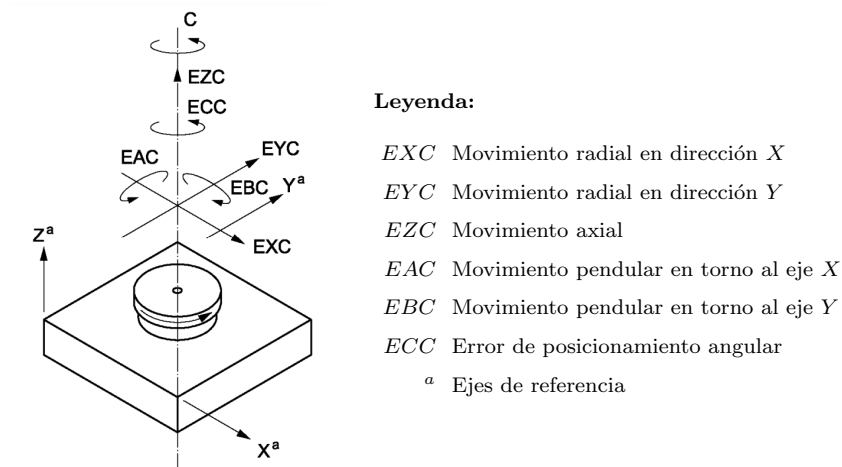


Figura 2.4: Errores de movimiento de los ejes de rotación. [21]

Los **PIGE**, por otro lado, describen los errores de centrado de la línea media del eje de rotación. Cada eje de rotación cuenta con cuatro componentes de error: **dos errores de posicionamiento**, cuyas componentes son perpendiculares a la dirección de giro nominal, y **dos errores angulares**, que representan los **dos errores de paralelismo** entre la línea media real y la ideal. En este trabajo, el criterio de signos para los errores angulares, a diferencia de los errores de perpendicularidad en los ejes lineales, estará basado en **la regla del giro de la mano derecha**.

La figura 2.5 ilustra los 4 PIGE asociados a un eje de rotación que gira en la dirección C , siendo el caso análogo para el eje A . De este modo, quedan definidos los 8 PIGE presentes en una MH con dos ejes de rotación.

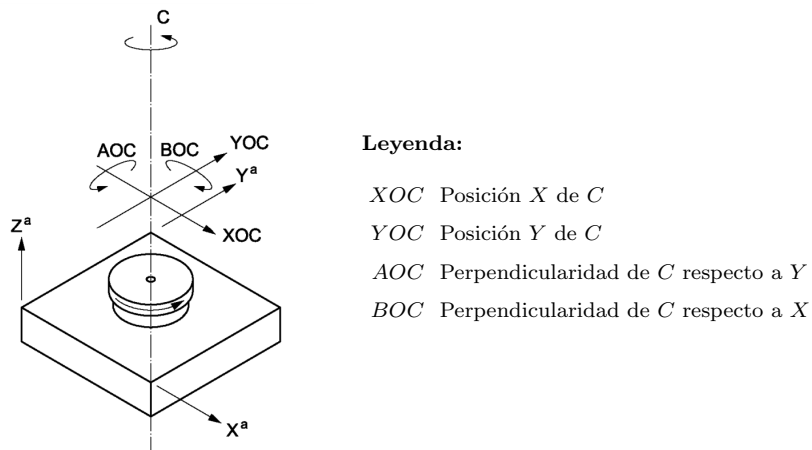


Figura 2.5: Error de centrado de la línea media del eje. [21]

3 Equipo y elementos disponibles

Las MH de 5 ejes, como ya se ha mencionado, destacan por su capacidad para mecanizar piezas complejas con alta precisión y flexibilidad. Actualmente, es posible encontrar diversas configuraciones de sus ejes rotativos, que varían según las aplicaciones industriales. Estas configuraciones pueden incluir ambos ejes en la mesa de la máquina, ambos en el cabezal de la herramienta, o uno en la mesa y otro en el cabezal, como se detalla en [22]. Estos ejes añaden posibles errores a la máquina, pero con la técnica de **verificación volumétrica** es posible caracterizar y compensar los 41 EG de este tipo de máquinas, definidos en el apartado 2.3, mediante un enfoque eficiente que requiere tres elementos clave: una **MH de 5 ejes** sobre la que se puedan efectuar los ensayos físicos, un **dispositivo de medición de alta precisión** que pueda capturar las desviaciones de la máquina y un **programa de cálculo** para analizar los datos y caracterizar los errores.

En el presente trabajo se simula el comportamiento de una máquina **HAAS de 5 ejes**, empleando para la captura de datos el **TSB** desarrollado en la UZ y utilizando **MATLAB** como software para la simulación, caracterización y compensación de errores. A continuación, se detalla información más específica sobre los elementos empleados.

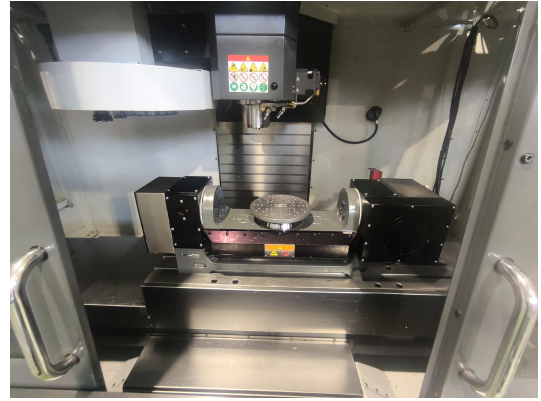
3.1. Máquina-Herramienta

La máquina simulada en el modelo digital diseñado, y sobre la cual se realizarán en una etapa posterior los ensayos físicos necesarios para su verificación, es la **fresadora CNC HAAS** disponible en el taller de fabricación del Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza. Esta máquina se muestra en la figura 3.4 (a) y (b).

El modelo base es una **HAAS VF-3**, una fresadora de **3 ejes** en su configuración estándar. Para dotarla de capacidades de **5 ejes**, se ha equipado con una mesa rotativa basculante de doble eje **TR160**. A continuación, en este trabajo, se detalla la información relevante de ambos componentes, aunque también se puede encontrar más información sobre estos modelos en la página oficial de **HAAS Automation** [23].



(a) Vista general de la fresadora.



(b) Vista detallada con TR160 instalado.

Figura 3.1: Fresadora CNC HAAS de 5 ejes del taller del departamento de fabricación.

3.1.1. HAAS VF-3

El modelo Haas VF-3 cuenta con una configuración estándar de **tres ejes lineales** de movimiento. Dos de ellos, los ejes **X** y **Y** , están asociados al **movimiento de la mesa** y, por tanto, son responsables del posicionamiento de la pieza de trabajo. En esta configuración, el eje X está montado sobre el eje Y , formando una disposición cinemática **YX** . El tercer eje, el **Z** , corresponde al **movimiento del cabezal** de la herramienta. Por consiguiente, la configuración cinemática estándar de la VF-3 puede describirse como **$YXFZ$** , donde los ejes situados a la izquierda de la letra **F** controlan el movimiento de la pieza de trabajo, mientras que los situados a la derecha controlan el movimiento de la herramienta.

En la página oficial del fabricante [23] es posible acceder a documentación técnica detallada sobre la máquina, que incluye sus especificaciones, planos y modelos 3D. Las especificaciones relevantes para este trabajo se presentan en la tabla 3.1, mientras que la figura 3.2 muestra el **modelo CAD** proporcionado por el fabricante. Este modelo, junto con el del TR160 (figura 3.3), ha sido esencial para la **generación de cuerpos geométricos** con dimensiones precisas, permitiendo incorporar un margen de seguridad adecuado. Esto ha facilitado la simulación y evaluación de colisiones, permitiendo así un diseño seguro y eficiente de los diferentes ensayos.

Tabla 3.1: Especificaciones técnicas del modelo Haas VF-3.

Categoría	Propiedad	Valor (mm)
Mesa	Longitud	1219
	Anchura	457
Recorridos	Eje X	1016
	Eje Y	508
	Eje Z	635
	Nariz del husillo a la mesa ($\sim$ máx.)	742
	Nariz del husillo a la mesa ($\sim$ mín.)	107

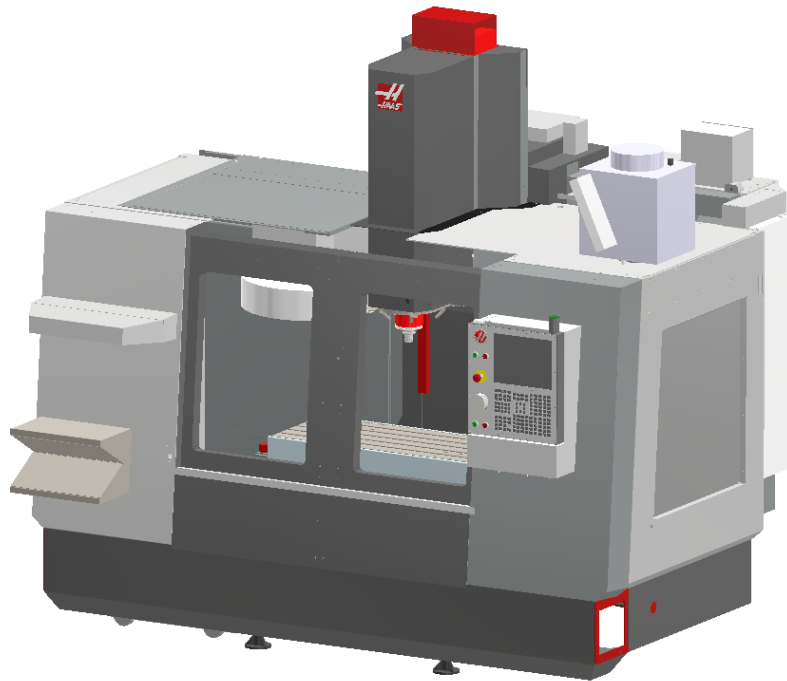


Figura 3.2: Modelo CAD de la Haas VF-3

3.1.2. TRT160

El TR160 es una mesa rotativa basculante que puede instalarse sobre la mesa de las máquinas de la serie VF. A este tipo de sistemas se les conoce como *Trunnion*, y en el caso particular de este modelo, sus dos ejes de rotación permiten girar la pieza en las direcciones de los ejes X y Z . Por lo tanto, los ejes de giro se denominan A y C , respectivamente.

Siguiendo la nomenclatura presentada en el apartado 3.1.1 para designar la configuración cinemática de un sistema productivo, el *Trunnion* al tener el eje C montado sobre el eje A , tiene una configuración AC . Al situarse sobre la mesa de trabajo de la máquina, que está formada por una configuración YX , la configuración cinemática asociada a la pieza de trabajo se describe como $YXAC$. En consecuencia,

el modelo VF-3, que originalmente cuenta con tres ejes lineales, al incorporar el *Trunion* pasa a ser una MH de 5 ejes con una configuración cinemática ***YXACFZ***.

La figura 3.3 muestra el modelo CAD proporcionado por el fabricante, mientras que la tabla 3.2 presenta las especificaciones más relevantes del TR160 para este trabajo. Información adicional puede consultarse en la página web del fabricante [23].

Tabla 3.2: Especificaciones técnicas del modelo TR160.

Categoría	Propiedad	Valor
Eje A (Inclinación) - Indexado	Rotación máx. por paso	$\pm 120^\circ$
	Resolución	0.001°
	Precisión	± 15 arc-sec
	Repetibilidad	10 arc-sec
Eje C (Rotación) - Indexado	Rotación máx. por paso	$999,999^\circ$
	Resolución	0.001°
	Precisión	± 15 arc-sec
	Repetibilidad	10 arc-sec
Plato	Diámetro de la plataforma	160 mm
	Peso máximo en la plataforma	36.3 kg
	Volteo máximo de la pieza	445 mm

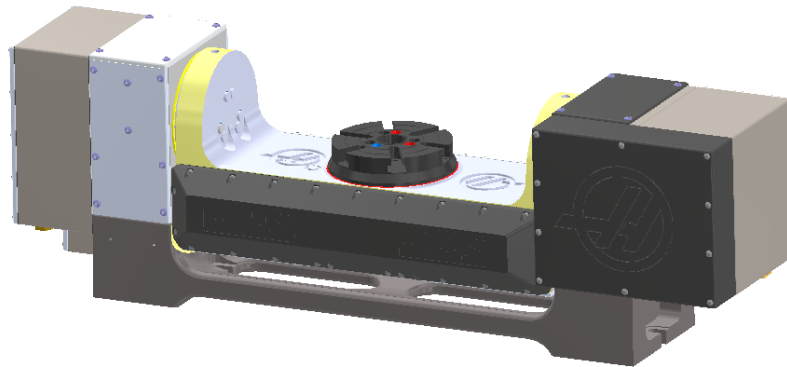


Figura 3.3: Modelo CAD del TR160

3.2. Dispositivo de medición

El dispositivo empleado para la captura de datos, simulado en el modelo digital, es el **TSB** (Ballbar Telescópico de Medición Simultánea, también conocido como HPTI, *High Precision Telescopic Instrument*), desarrollado en la UZ [1]. Este sistema, diseñado para la verificación volumétrica de sistemas productivos con ejes de rotación,

como las máquinas herramienta (MH) de 5 ejes, emplea una **técnica de medición** basada en la **multilateración láser simultánea** y constituye una alternativa a dispositivos como los LT y LC.

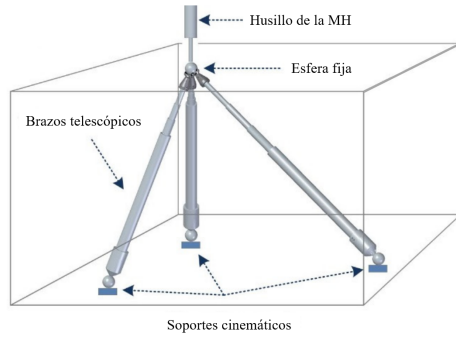
Tanto los sistemas LT como LC requieren múltiples ciclos de medición para realizar la verificación volumétrica de una MH, lo que implica un elevado consumo de tiempo y una mayor sensibilidad a variaciones térmicas y errores de repetibilidad de la máquina durante los ciclos. Además, estos dispositivos son vulnerables a las condiciones ambientales del taller, que no siempre son ideales [24, 25].

El **TSB**, en cambio, realiza la medición en un **único ciclo** gracias a su diseño de **multilateración láser simultánea** y su capacidad de **seguimiento mecánico** de la esfera de medición. Su acoplamiento cinemático multipunto o "tridente", equipado con imanes, permite una conexión robusta y rotaciones independientes de los brazos telescópicos en torno a la esfera, asegurando estabilidad durante la medición. Este enfoque no solo **reduce significativamente el tiempo** requerido durante el proceso de verificación, sino que **minimiza el impacto de variaciones térmicas y errores de repetibilidad** de la máquina, mejorando la precisión general del proceso [1, 16].

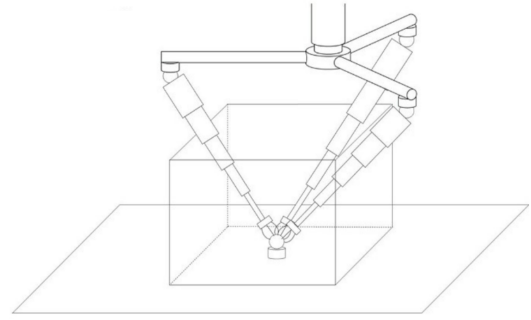
Sin embargo, este instrumento también presenta ciertas limitaciones, como el **rango de medición de los brazos**, con una **distancia máxima** entre esferas de **1050 mm** y una **mínima** de **400 mm** [24]. Por lo tanto, el volumen a verificar dentro de la MH se ve restringido por este rango, además de por el volumen de seguridad que evita posibles colisiones dentro del volumen de trabajo. La esfericidad de las bolas también influye en la precisión de la medición, junto con incertidumbres relacionadas con la multilateración, la resolución del interferómetro, el ensamblaje y factores ambientales. Teniendo en cuenta todo esto, en [24] se muestra que, en condiciones de **taller**, la **incertidumbre estimada** mediante el método Monte Carlo ($k = 2$) es **inferior a 5 μm** para longitudes calibradas entre 410 mm y 1041 mm.

Respecto al **posicionamiento del TSB** durante los ensayos de verificación, este permite dos configuraciones. La **configuración tradicional**, figura 3.4a, en la que los soportes cinemáticos se fijan a la mesa de la MH y la esfera de referencia se une al husillo; y la **configuración invertida**, figura 3.4b, en la que los soportes cinemáticos se fijan al husillo de la máquina herramienta mediante un sistema de sujeción, dejando los brazos telescópicos suspendidos [1]. En este trabajo **se ha optado por la configuración invertida**, ya que asocia los movimientos de giro

a la esfera, permitiendo un mayor recorrido en el eje de giro A, aunque en ambas configuraciones este movimiento está limitado por posibles colisiones. En la figura 3.5 se muestra el TSB montado sobre la HAAS VF-3 con el TR160 incorporado.



(a) En la mesa de la MH.



(b) En el extremo del husillo.

Figura 3.4: Opciones de posicionamiento del TSB en la MH. [1]

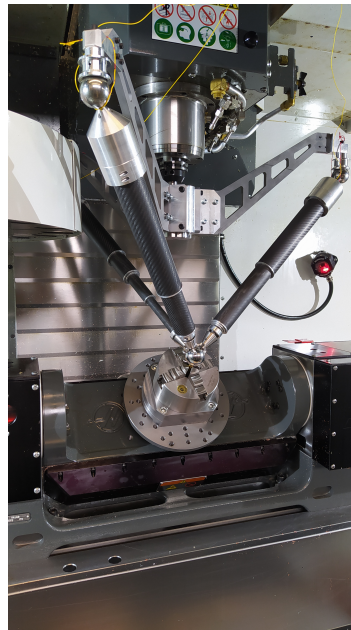


Figura 3.5: TSB montado en la VF-3 con TR160.

3.3. Software empleado

El software que se ha utilizado como herramienta para la creación del modelo digital es **MATLAB**. Desarrollado por **MathWorks** [26], MATLAB es una **plataforma de programación y cálculo numérico** ampliamente utilizada en el campo de la ingeniería para analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos. Su núcleo es un **lenguaje de programación** de alto nivel que permite expresar de manera directa

cálculos matemáticos basados en matrices y arreglos, facilitando el **desarrollo de soluciones complejas** de manera eficiente [26].

Este software, diseñado específicamente para satisfacer las necesidades de ingenieros y científicos, se caracteriza por su **facilidad de uso** y su capacidad para adaptarse al flujo de trabajo de los usuarios. Ofrece un **entorno intuitivo** que combina código, visualización y resultados en una única interfaz, lo que permite explorar ideas de manera rápida y eficiente. Además, cuenta con **aplicaciones predefinidas** que facilitan el análisis y diseño, las cuales pueden extenderse mediante miles de paquetes y **toolboxes** desarrollados por la comunidad [26].

Una de las principales fortalezas de esta plataforma es su **extensa biblioteca de toolboxes**, que abarcan una amplia gama de campos, como algoritmos de optimización y robótica, especialmente útiles para el desarrollo de este trabajo. Estas **herramientas especializadas** permiten abordar múltiples desafíos, como la generación de cuerpos geométricos, la simulación de interacciones y colisiones entre ellos, y la implementación de algoritmos de optimización que se han empleado en la identificación y compensación de los EG de la máquina. Por tanto, MATLAB se ofrece como una **solución integral** que permite **resolver problemas complejos** directamente desde la plataforma como los afrontados en el presente trabajo. Más información sobre MATLAB puede encontrarse en la **página oficial de MathWorks** [26].

4 Metodología

Las MH, por naturaleza, presentan EG que afectan la calidad del mecanizado. Sin embargo, estos errores pueden identificarse y compensarse, reduciendo significativamente su impacto mediante técnicas como la verificación indirecta, descrita en el apartado 2.1.2. Estas técnicas requieren de un programa de cálculo capaz de realizar una optimización matemática precisa y eficiente para caracterizar dichos EG.

Como se expone en el apartado 3.2, el TSB utilizado para la captura de datos mide la distancia entre una esfera de medición y su punto de referencia, siguiendo su movimiento de forma mecánica. Además, los brazos telescópicos del sistema tienen un rango limitado de operación. Diseñar ensayos que capturen eficientemente las desviaciones de la máquina de forma segura (evitando colisiones entre el TSB y la máquina, así como respetando las distancias máxima y mínima permitidas) puede parecer una tarea compleja. Sin embargo, el uso de MATLAB como programa de cálculo no solo permite simular la cinemática de la máquina mediante modelos matemáticos, sino que también, gracias a la *Robotics System Toolbox*, facilita la generación de geometrías de colisión asociadas al modelo cinemático. Estas geometrías, definidas por formas simples de dimensiones conocidas, permiten recrear los componentes del sistema y verificar posibles colisiones o incumplimientos de los límites de operación fijados.

El modelo cinemático implementado admite como entrada las coordenadas de la máquina $[X, Y, Z, A, C]$, así como posibles desplazamientos o rotaciones entre los ejes independientes al movimiento de la máquina (*offsets*), y los 41 EG definidos en el apartado 2.3. Esto permite ajustar digitalmente el posicionamiento de los ejes durante los ensayos físicos, además de introducir funciones sintéticas que simulan los EG de la máquina. De esta forma, es posible analizar cómo estos errores afectan las desviaciones de la máquina y evaluar el desempeño de los algoritmos empleados para su identificación y compensación. Este enfoque también permite la realimentación del modelo digital con datos experimentales.

El modelo cinemático, combinado con las geometrías de colisión, facilita la exploración autónoma de los límites del espacio de trabajo, siempre que se definan

parámetros que reflejen con precisión los límites del sistema real. A partir de este modelado, se simula el proceso de captura de datos del TSB, considerando qué ejes se moverán durante el proceso de medición y diseñando algoritmos que generen un mallado eficiente del espacio de exploración. Las mediciones simuladas se introducen en un algoritmo que genera funciones de error para replicar las desviaciones detectadas por el TSB. Estas funciones se utilizan posteriormente en un segundo algoritmo que calcula las coordenadas compensadas para los ensayos de verificación, reduciendo tanto los errores de posicionamiento como de orientación de la máquina.

Finalmente, las mediciones compensadas se pueden implementar físicamente en la máquina para evaluar la eficacia del proceso de verificación. Los archivos G-code, tanto para la captura de datos como para la verificación, se generan directamente en MATLAB, eliminando la necesidad de un postprocesador y permitiendo su uso inmediato en la máquina.

4.1. Modelo Digital

El modelo digital desarrollado consta de **dos componentes** principales: el modelo cinemático y el modelo geométrico. El **modelo cinemático** incluye los modelos matemáticos necesarios para replicar el comportamiento de la MH y el TSB, incorporando tanto los errores asociados a la MH como los del propio TSB. Por su parte, el **modelo geométrico** representa los diferentes componentes del sistema mediante geometrías simples, cuyas posiciones en el espacio están vinculadas dinámicamente al modelo cinemático.

4.1.1. Introducción del modelado cinemático y de error

La aplicación de modelos matemáticos que permitan ajustarse al comportamiento cinemático de un sistema mecánico es fundamental, ya que permite describir de manera precisa el movimiento de sus componentes en función de parámetros definidos. Estos modelos resultan esenciales para analizar, predecir y controlar el comportamiento de los sistemas, asegurando que cumplan con los requisitos de precisión y funcionalidad deseados.

Según [27] la cinemática de un sistema mecánico como puede ser un robot o cualquier otro tipo de sistema productivo (como el caso de las MH) puede ser descrito

por multiples métodos, entre los que destaca el método de transformaciones homogéneas (HTM, *Homogeneous-Transformation-Method*), el método vectorial, el método de tornillos (*Screw theory*), cuaterniones, entre otros. Sin embargo, en cuanto al modelado de EG, el **método HTM** es el **más utilizado** debido a su claro significado físico y procedimiento de modelado estilizado. Este tipo de modelado considera cada eje, ya sea lineal o rotatorio, como un cuerpo rígido ligado a su sistema de coordenadas local. Las HTM, en el caso de un sistema de coordenadas 3D, se representa generalmente como una matriz 4×4 . La forma completa puede verse en la ecuación (4.1a), donde las tres primeras filas y columnas corresponden a la rotación y la última columna describe la traslación. Una forma equivalente más compacta se muestra en la ecuación (4.1b).

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & t_x \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & t_y \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & n \end{bmatrix} \quad (4.1a)$$

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0}^T & n \end{bmatrix} \quad (4.1b)$$

Donde:

- R_{ij} son los elementos de la matriz de rotación $\mathbf{R}$, que es una matriz 3×3 con $i, j \in \{1, 2, 3\}$ y que describe la rotación del objeto en el espacio.
- t_x, t_y, t_z son los componentes de la traslación del objeto en las direcciones x, y, z .
- El factor n de la última fila, $(0, 0, 0, n)$, se trata de un factor de escalado que no va a emplearse en los sistemas planteados así que tomará valor unitario $n = 1$.

La principal ventaja que proporcionan estas matrices es que permiten realizar **cambios de sistemas de coordenadas de forma sencilla** como puede verse en la ecuación 4.2. Como caso de ejemplo, se van a tomar las matrices de transformación homogénea que permiten pasar un punto de un sistema de coordenadas A al sistema de coordenadas C pasando por B . Estas matrices están definidas como sigue:

$${}^B\mathbf{H}_A = \begin{bmatrix} R_{BA} & t_{BA} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^C\mathbf{H}_B = \begin{bmatrix} R_{CB} & t_{CB} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix}$$

Donde:

- ${}^B\mathbf{H}_A$ es la HTM que transforma del sistema A al B , análogo con ${}^C\mathbf{H}_B$.
- R_{BA} es la matriz de rotación que alinea los ejes del sistema A con B .

- t_{BA} es el vector de traslación que desplaza el sistema, ya orientado con B , a la posición de B .

La composición de las transformaciones homogéneas permite obtener la matriz que transforma un punto del sistema A directamente al sistema C :

$${}^C\mathbf{H}_A = {}^C\mathbf{H}_B \cdot {}^B\mathbf{H}_A \quad (4.2)$$

Aplicando este mismo criterio para el cambio de coordenadas de un punto que se encuentra en un sistema de coordenadas A y se quiere representar en un sistema de coordenadas C , puede hacerse de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{p}_C \\ 1 \end{bmatrix} = {}^C\mathbf{H}_A \begin{bmatrix} \mathbf{p}_A \\ 1 \end{bmatrix} = {}^C\mathbf{H}_B {}^B\mathbf{H}_A \begin{bmatrix} \mathbf{p}_A \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Donde p_A es un vector columna de longitud 3 que representa las coordenadas de un vector p en el sistema de coordenadas A , análogo con p_C .

Para que el concepto de este tipo de matrices quede claro, una HTM del tipo ${}^B\mathbf{H}_A$ describe cómo el sistema de coordenadas A está orientado y posicionado con respecto al sistema de coordenadas B . En otras palabras, representa al sistema de coordenadas A visto desde el sistema de coordenadas B . A la hora de construir estas matrices, puede imaginarse como si uno estuviese situado en el sistema de coordenadas B . El vector de traslación $\mathbf{t}$ de la HTM indicará la posición del origen de A con respecto al origen de B , mientras que la matriz de rotación $\mathbf{R}$ describirá cómo están orientados los ejes de A en relación con los de B .

Cabe destacar que las HTM son matrices cuya inversa puede ser calculada. La inversa de una matriz de transformación homogénea ${}^B\mathbf{H}_A$, denotada como ${}^A\mathbf{H}_B$, describe cómo el sistema de coordenadas B está orientado y posicionado con respecto al sistema de coordenadas A . Desde el punto de vista físico, calcular la inversa de una HTM equivale a cambiar la perspectiva del sistema de referencia. Si ${}^B\mathbf{H}_A$ describe al sistema A visto desde B , entonces ${}^A\mathbf{H}_B$ describe al sistema B visto desde A .

Dicho esto, el modelado de EG con estas matrices es relativamente sencillo, pero, para un mejor entendimiento, se detallan a continuación las HTM elementales. Estas matrices representan rotaciones o traslaciones puras. En total, se tienen seis HTM elementales diferentes, una para cada GL del sistema. Sin embargo, dado que la multiplicación de matrices elementales de traslación equivale simplemente a la suma de sus elementos en el vector de traslación $\mathbf{t}$, se definirán únicamente las tres matrices

elementales de rotación y una matriz de traslación que incluye desplazamientos en las tres direcciones X, Y, Z :

Rotación alrededor del eje X :

$$\mathbf{H}_{\text{rot},X} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Rotación alrededor del eje Y :

$$\mathbf{H}_{\text{rot},Y} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Rotación alrededor del eje Z :

$$\mathbf{H}_{\text{rot},Z} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Traslación en las tres direcciones X, Y, Z :

$$\mathbf{H}_{\text{trans},XYZ} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Una matriz como la mostrada en la ecuación 4.1a puede contener una combinación de todos los movimientos puros. Sin embargo, es necesario describir cómo se multiplican estas matrices elementales. Dado que las transformaciones no conmutan en general, el orden de multiplicación es fundamental. La transformación completa puede expresarse como:

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_{\text{trans},XYZ} \cdot \mathbf{H}_{\text{rot},Z} \cdot \mathbf{H}_{\text{rot},Y} \cdot \mathbf{H}_{\text{rot},X} \quad (4.8)$$

A partir de esta formulación, se puede definir la **matriz de errores** genérica que contendrá los PDGE de cada eje, ya sea de rotación o de traslación. Dado que existe un PDGE por cada GL del eje, esta HTM de errores se puede expresar omitiendo los términos de segundo orden y bajo la suposición de ángulos pequeños. La forma resultante es:

$$\mathbf{H}_{\text{error}} = \begin{bmatrix} 1 & -\varepsilon_z & \varepsilon_y & \delta x \\ \varepsilon_z & 1 & -\varepsilon_x & \delta y \\ -\varepsilon_y & \varepsilon_x & 1 & \delta z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Donde:

- $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$: Se corresponden con los pequeños ángulos de error asociados a rotaciones alrededor de los ejes X , Y y Z , respectivamente.
- $\delta x, \delta y, \delta z$: Se corresponden con los pequeños desplazamientos de error a lo largo de los ejes X , Y y Z , respectivamente.

4.1.2. Modelo Cinemático introducido

Conocida la formulación a emplear, definida en el apartado 4.1.1, es posible construir el modelo cinemático dentro del modelo digital. Sin embargo, la interpretación de los EG de la máquina depende en gran medida de la disposición de los ejes. La configuración seguida en este trabajo consiste en orientar los ejes de traslación en la dirección de los ejes de la máquina X , Y , Z , mientras que, para los ejes de rotación, se ha optado por alinear el eje Z del sistema de coordenadas con el eje de giro de la máquina (ya sea A o C). En la figura 4.1 se puede ver claramente la orientación de los ejes utilizada. Cabe destacar que en dicha figura se incluye un eje de rotación B ficticio, que no existe en la realidad, pero se ha modelado en el modelo cinemático para hacerlo más genérico. Este modelo puede aplicarse también a otras máquinas que dispongan de un eje B , bastando con modificar el orden de multiplicación de las matrices dentro del modelo.

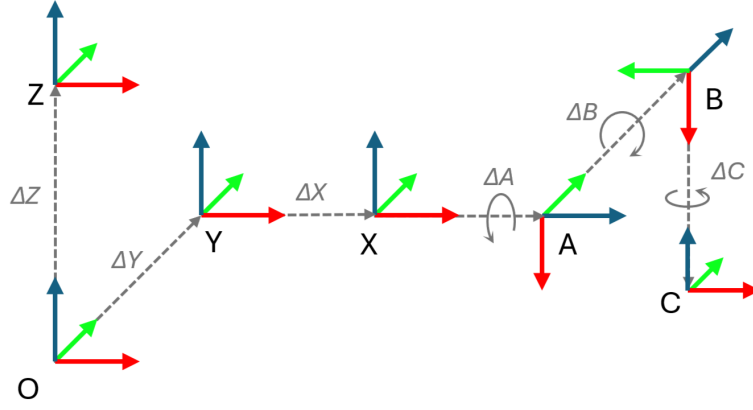


Figura 4.1: Configuración de los sistemas asociados a la máquina - YXABCFZ

Siguiendo la orientación de los sistemas de coordenadas mostrados en la figura 4.1, las matrices de transformación homogénea (HTM) que describen el movimiento nominal de cada eje de la máquina, suponiendo que las coordenadas de entrada sean $[x, y, z, \theta_a, \theta_b, \theta_c]$, donde las coordenadas de traslación se expresan en milímetros (mm) y las de rotación en grados ($^\circ$), son las siguientes:

$$\mathbf{H}_X^{\text{nom}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

$$\mathbf{H}_Y^{\text{nom}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

$$\mathbf{H}_Z^{\text{nom}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

$$\mathbf{H}_A^{\text{nom}} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_a) & -\sin(\theta_a) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_a) & \cos(\theta_a) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

$$\mathbf{H}_B^{\text{nom}} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_b) & -\sin(\theta_b) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_b) & \cos(\theta_b) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

$$\mathbf{H}_C^{\text{nom}} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_c) & -\sin(\theta_c) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_c) & \cos(\theta_c) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

Para conseguir la orientación de los sistemas de coordenadas asociados a cada eje de la MH, es necesario introducir HTM que permitan definir de forma precisa tanto su posición como su orientación. Estas matrices actúan como matrices de *offset* entre los ejes, permitiendo desplazar y rotar los sistemas de coordenadas hasta adoptar la configuración requerida. Las matrices de *offset* deben interpretarse físicamente como se describe en la ecuación 4.8, representando la transformación necesaria para pasar de un sistema de coordenadas previo al siguiente. La nomenclatura adoptada es $\mathbf{H}_N^{\text{off}}$, donde N indica el sistema de coordenadas al cual se aplica el *offset* (por ejemplo, X , Y , Z , A , B o C). En consecuencia, esta matriz describe el *offset* del sistema de coordenadas asociado al eje N respecto al sistema de coordenadas previo, excluyendo los movimientos intrínsecos del propio eje.

Respecto a la nomenclatura empleada para referirse a los diferentes EG que existen en una MH de 5 ejes, definidos en el apartado 2.3, se utilizará el símbolo δ para las desviaciones lineales de los ejes y el símbolo ε para las desviaciones angulares. Estos irán acompañados de dos términos: el primero indica la dirección del error en el sistema de coordenadas, mientras que el segundo muestra el eje de la máquina al que pertenece dicho error o sistema de coordenadas en el que está representado. Por ejemplo, un error δ_{yx} representa una desviación lineal en la dirección Y medida en el sistema de coordenadas X , y un error ε_{yx} indica una desviación angular en la dirección Y en el sistema de coordenadas X .

Con esta nomenclatura, los PDGE de la máquina se resumen en la tabla 4.1. Esta tabla incluye también los 6 PDGE correspondientes al eje B , que físicamente no existe en la máquina. Por lo tanto, aunque se presenten 36 PDGE, 6 de ellos son siempre nulos, dejando realmente 30 PDGE asociados a los ejes X , Y , Z , A y C , como se definió en el apartado 2.3.

Tabla 4.1: Nomenclatura de los PDGE de la MH.

Eje	Parámetro	Descripción
X	δ_{xx}	Error de posición del eje X
	δ_{yx}	Error de rectitud en Y del eje X
	δ_{zx}	Error de rectitud en Z del eje X
	ε_{xx}	Error de balanceo del eje X
	ε_{yx}	Error de cabeceo del eje X
	ε_{zx}	Error de guiñada del eje X
Y	δ_{yy}	Error de posición del eje Y
	δ_{xy}	Error de rectitud en X del eje Y
	δ_{zy}	Error de rectitud en Z del eje Y
	ε_{yy}	Error de balanceo eje Y
	ε_{xy}	Error de cabeceo eje Y
	ε_{zy}	Error de guiñada eje Y
Z	δ_{zz}	Error de posición del eje Z
	δ_{xz}	Error de rectitud en X del eje Z
	δ_{yz}	Error de rectitud en Y del eje Z
	ε_{zz}	Error de balanceo eje Z
	ε_{xz}	Error de cabeceo eje Z
	ε_{yz}	Error de guiñada eje Z
A	δ_{za}	Error axial del eje A
	δ_{xa}	Error radial en dirección X del eje A
	δ_{ya}	Error radial en dirección Y del eje A
	ε_{za}	Error de posicionamiento angular del eje A
	ε_{xa}	Error pendular entorno al eje X del eje A
	ε_{ya}	Error pendular entorno al eje Y del eje A
B	δ_{zb}	Error axial del eje B
	δ_{xb}	Error radial en dirección X del eje B
	δ_{yb}	Error radial en dirección Y del eje B
	ε_{zb}	Error de posicionamiento angular del eje B
	ε_{xb}	Error pendular entorno al eje X del eje B
	ε_{yb}	Error pendular entorno al eje Y del eje B
C	δ_{zc}	Error axial del eje C
	δ_{xc}	Error radial en dirección X del eje C
	δ_{yc}	Error radial en dirección Y del eje C
	ε_{zc}	Error de posicionamiento angular del eje C
	ε_{xc}	Error pendular entorno al eje X del eje C
	ε_{yc}	Error pendular entorno al eje Y del eje C

Para los PIGE, los errores de perpendicularidad de los ejes de traslación se representarán con la letra S . Estos errores están definidos por los dos ejes involucrados: un error positivo indica que los ejes forman un ángulo mayor a 90° , mientras que un error negativo indica un ángulo menor. En el caso de los ejes de rotación, los errores de centrado (*offsets* de posición) se denotan con el símbolo σ , y los errores de paralelismo se representan con la letra P . La nomenclatura sigue

la misma lógica que en los PDGE: el primer término indica la dirección del error, y el segundo, el eje de la máquina que contiene dicho error. Sin embargo, las direcciones del error se toman en el sistema de coordenadas anterior al eje de giro. Por ejemplo, si el eje de giro es el eje A , que está montado sobre el eje X de la máquina, las direcciones del error se medirán en el sistema de coordenadas X (SCX).

En el caso de los ejes de rotación, los 4 PIGE se describen gráficamente en la figura 4.2 para evitar confusiones. En la tabla 4.2 se presentan todos los PIGE posibles en una MH. Sin embargo, como ocurre con los PDGE, se incluyen los 4 errores asociados al eje B , que es inexistente en la máquina. Así, de los 15 PIGE listados, solo 11 son relevantes para los ejes X , Y , Z , A y C , tal como se definió en el apartado 2.3.

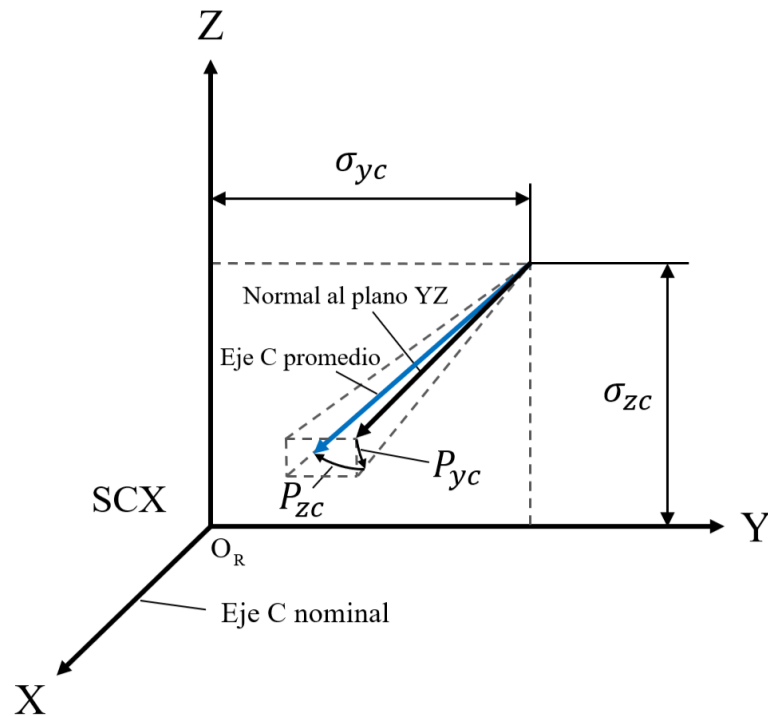


Figura 4.2: Esquema de los PIGE del eje de rotación C de la máquina.

Tabla 4.2: Nomenclatura de los PIGE de la MH.

Ejes	Parámetro	Descripción
X	S_{xy}	Error de perpendicularidad entre los ejes X e Y (ref. eje Y)
Z	S_{zx}	Error de perpendicularidad entre los ejes X y Z (ref. eje X)
	S_{zy}	Error de perpendicularidad entre los ejes Y y Z (ref. eje Y)
A	σ_{ya}	Error de centrado del eje A en dirección Y del SCX
	σ_{za}	Error de centrado del eje A en dirección Z del SCX
	P_{ya}	Error de paralelismo del eje A respecto al giro en Y del SCX
	P_{za}	Error de paralelismo del eje A respecto al giro en Z del SCX
B	σ_{xb}	Error de centrado del eje B en dirección X del SCA
	σ_{zb}	Error de centrado del eje B en dirección Z del SCA
	P_{xb}	Error de paralelismo del eje B respecto al giro en X del SCA
	P_{zb}	Error de paralelismo del eje B respecto al giro en Z del SCA
C	σ_{yc}	Error de centrado del eje C en dirección Y del SCB
	σ_{zc}	Error de centrado del eje C en dirección Z del SCB
	P_{yc}	Error de paralelismo del eje C respecto al giro en Y del SCB
	P_{zc}	Error de paralelismo del eje C respecto al giro en Z del SCB

Con esta nomenclatura, las HTM que incorporan los EG en el modelo cinemático de la máquina se presentan a continuación. La construcción de estas matrices sigue el mismo esquema que la matriz de errores $\mathbf{H}_{\text{error}}$ definida en la ecuación 4.9, descrita en el apartado 4.1.1.

PDGE HTM

Las HTM correspondientes a los PDGE se definen mediante las siguientes expresiones:

$$\mathbf{H}_X^{\text{PDGE}} = \begin{bmatrix} 1 & -\varepsilon_{zx} & \varepsilon_{yx} & \delta_{xx} \\ \varepsilon_{zx} & 1 & -\varepsilon_{xx} & \delta_{yx} \\ -\varepsilon_{yx} & \varepsilon_{xx} & 1 & \delta_{zx} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

$$\mathbf{H}_Y^{\text{PDGE}} = \begin{bmatrix} 1 & -\varepsilon_{zy} & \varepsilon_{yy} & \delta_{xy} \\ \varepsilon_{zy} & 1 & -\varepsilon_{xy} & \delta_{yy} \\ -\varepsilon_{yy} & \varepsilon_{xy} & 1 & \delta_{zy} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

$$\mathbf{H}_Z^{\text{PDGE}} = \begin{bmatrix} 1 & -\varepsilon_{zz} & \varepsilon_{yz} & \delta_{xz} \\ \varepsilon_{zz} & 1 & -\varepsilon_{xz} & \delta_{yz} \\ -\varepsilon_{yz} & \varepsilon_{xz} & 1 & \delta_{zz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

$$\mathbf{H}_A^{\text{PDGE}} = \begin{bmatrix} 1 & -\varepsilon_{za} & \varepsilon_{ya} & \delta_{xa} \\ \varepsilon_{za} & 1 & -\varepsilon_{xa} & \delta_{ya} \\ -\varepsilon_{ya} & \varepsilon_{xa} & 1 & \delta_{za} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

$$\mathbf{H}_B^{\text{PDGE}} = \begin{bmatrix} 1 & -\varepsilon_{zb} & \varepsilon_{yb} & \delta_{xb} \\ \varepsilon_{zb} & 1 & -\varepsilon_{xb} & \delta_{yb} \\ -\varepsilon_{yb} & \varepsilon_{xb} & 1 & \delta_{zb} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

$$\mathbf{H}_C^{\text{PDGE}} = \begin{bmatrix} 1 & -\varepsilon_{zc} & \varepsilon_{yc} & \delta_{xc} \\ \varepsilon_{zc} & 1 & -\varepsilon_{xc} & \delta_{yc} \\ -\varepsilon_{yc} & \varepsilon_{xc} & 1 & \delta_{zc} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

PIGE HTM

Los PIGE, clasificados según el tipo de error, se representan mediante las siguientes matrices:

- Errores de perpendicularidad entre los ejes de traslación:

$$\mathbf{H}_X^{\text{PIGE},xy} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ S_{xy} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

$$\mathbf{H}_Z^{\text{PIGE},zy} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -S_{zy} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

$$\mathbf{H}_Z^{\text{PIGE},zx} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & S_{zx} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

- Errores de centrado de los ejes de rotación:

$$\mathbf{H}_A^{\text{PIGE},\text{tras}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \sigma_{ya} \\ 0 & 0 & 1 & \sigma_{za} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.25)$$

$$\mathbf{H}_B^{\text{PIGE,tras}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \sigma_{xb} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \sigma_{zb} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

$$\mathbf{H}_C^{\text{PIGE,tras}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \sigma_{yc} \\ 0 & 0 & 1 & \sigma_{zc} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

- Errores de paralelismo de los ejes de rotación:

$$\mathbf{H}_A^{\text{PIGE,rot}} = \begin{bmatrix} 1 & -P_{za} & P_{ya} & 0 \\ P_{za} & 1 & 0 & 0 \\ -P_{ya} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

$$\mathbf{H}_B^{\text{PIGE,rot}} = \begin{bmatrix} 1 & -P_{zb} & 0 & 0 \\ P_{zb} & 1 & -P_{xb} & 0 \\ 0 & P_{xb} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.29)$$

$$\mathbf{H}_C^{\text{PIGE,rot}} = \begin{bmatrix} 1 & -P_{zc} & P_{yc} & 0 \\ P_{zc} & 1 & 0 & 0 \\ -P_{yc} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.30)$$

Con esto quedan definidas todas las HTM que representan el movimiento de la máquina con los respectivos EG asociados a la misma. Sin embargo, para poder construir el modelo cinemático completo de la máquina, es necesario introducir dos sistemas de coordenadas adicionales: uno asociado al dispositivo de medición (TSB), que estará ligado al eje Z de la máquina, y otro asociado al centro de la esfera de medición, que estará ligado al eje C del *trunnion*. Estos sistemas de coordenadas se denominarán DM (Dispositivo de Medición) y W (*Workpiece*), respectivamente.

En la figura 4.3 se puede observar el esquema cinemático del modelo, el cual contiene un total de 9 sistemas de coordenadas. De estos, 6 (X, Y, Z, A, B, C) están ligados a los ejes de la máquina, aunque el eje B , como ya se ha mencionado, no existe físicamente. Adicionalmente, el sistema de coordenadas O representa la bancada o base fija de la máquina, mientras que DM y W están asociados al dispositivo de medición y a la esfera, respectivamente.

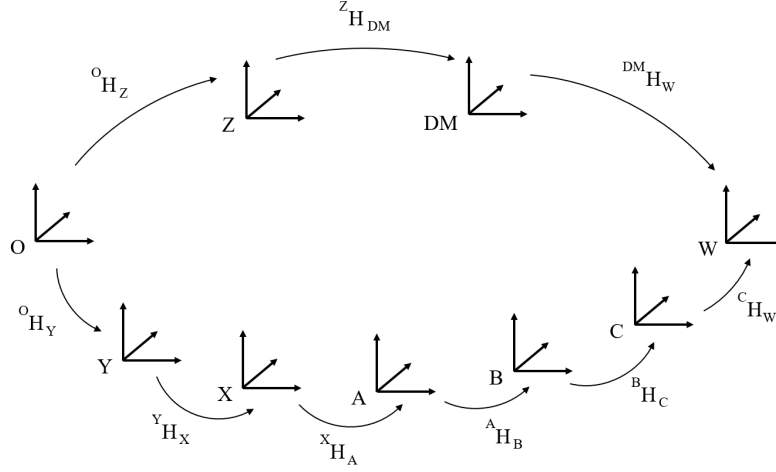


Figura 4.3: Esquema cinemático del modelo.

Las HTM que aparecen en la figura 4.3 quedan construidas de la siguiente forma:

Movimiento asociado a la esfera:

$${}^O\mathbf{H}_Y = \mathbf{H}_Y^{\text{off}} \cdot \mathbf{H}_Y^{\text{nom}} \cdot \mathbf{H}_Y^{\text{PDGE}} \quad (4.31)$$

$${}^Y\mathbf{H}_X = \mathbf{H}_X^{\text{PIGE,xy}} \cdot \mathbf{H}_X^{\text{off}} \cdot \mathbf{H}_X^{\text{nom}} \cdot \mathbf{H}_X^{\text{PDGE}} \quad (4.32)$$

$${}^X\mathbf{H}_A = \mathbf{H}_A^{\text{PIGE,tras}} \cdot \mathbf{H}_A^{\text{PIGE,rot}} \cdot \mathbf{H}_A^{\text{off}} \cdot \mathbf{H}_A^{\text{nom}} \cdot \mathbf{H}_A^{\text{PDGE}} \quad (4.33)$$

$${}^A\mathbf{H}_B = \mathbf{H}_B^{\text{PIGE,tras}} \cdot \mathbf{H}_B^{\text{PIGE,rot}} \cdot \mathbf{H}_B^{\text{off}} \cdot \mathbf{H}_B^{\text{nom}} \cdot \mathbf{H}_B^{\text{PDGE}} \quad (4.34)$$

$${}^B\mathbf{H}_C = \mathbf{H}_C^{\text{PIGE,tras}} \cdot \mathbf{H}_C^{\text{PIGE,rot}} \cdot \mathbf{H}_C^{\text{off}} \cdot \mathbf{H}_C^{\text{nom}} \cdot \mathbf{H}_C^{\text{PDGE}} \quad (4.35)$$

$${}^C\mathbf{H}_W = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_W \\ 0 & 1 & 0 & y_W \\ 0 & 0 & 1 & z_W \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.36)$$

Donde x_W, y_W, z_W son los decalajes de la esfera de medición respecto del centro del plato del *trunnion*.

Movimiento asociado al TSB:

$${}^B\mathbf{H}_C = \mathbf{H}_C^{\text{PIGE,tras}} \cdot \mathbf{H}_C^{\text{PIGE,rot}} \cdot \mathbf{H}_C^{\text{off}} \cdot \mathbf{H}_C^{\text{nom}} \cdot \mathbf{H}_C^{\text{PDGE}} \quad (4.37)$$

$${}^Z\mathbf{H}_{DM} = \begin{bmatrix} c_{\phi_{DM}}c_{\theta_{DM}} & s_{\alpha_{DM}}c_{\theta_{DM}}s_{\phi_{DM}} - c_{\alpha_{DM}}s_{\theta_{DM}} & s_{\alpha_{DM}}s_{\theta_{DM}} + c_{\alpha_{DM}}c_{\theta_{DM}}s_{\phi_{DM}} & x_{DM} \\ c_{\phi_{DM}}s_{\theta_{DM}} & c_{\alpha_{DM}}c_{\theta_{DM}} + s_{\alpha_{DM}}s_{\phi_{DM}}s_{\theta_{DM}} & c_{\alpha_{DM}}s_{\phi_{DM}}s_{\theta_{DM}} - s_{\alpha_{DM}}c_{\theta_{DM}} & y_{DM} \\ -s_{\phi_{DM}} & c_{\phi_{DM}}s_{\alpha_{DM}} & c_{\alpha_{DM}}c_{\phi_{DM}} & z_{DM} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.38)$$

Donde:

- $c_{\alpha_{DM}} = \cos(\alpha_{DM})$, $s_{\alpha_{DM}} = \sin(\alpha_{DM})$
- $c_{\phi_{DM}} = \cos(\phi_{DM})$, $s_{\phi_{DM}} = \sin(\phi_{DM})$
- $c_{\theta_{DM}} = \cos(\theta_{DM})$, $s_{\theta_{DM}} = \sin(\theta_{DM})$
- $\alpha_{DM}, \phi_{DM}, \theta_{DM}$ son las coordenadas de rotación de los ejes X , Y , y Z , respectivamente (rotación del TSB respecto del sistema de coordenadas Z).
- x_{DM}, y_{DM}, z_{DM} son las coordenadas de traslación en los ejes X , Y , y Z , respectivamente (decalaje del TSB respecto del sistema de coordenadas Z).

4.1.3. Modelo Geométrico introducido

El modelo digital diseñado no solo requiere de un modelo cinemático que reproduzca los movimientos de la máquina para simular la toma de datos del TSB o caracterizar los EG, sino también de un modelo geométrico que incorpore cuerpos geométricos desplazados según el modelo cinemático, permitiendo evaluar posibles colisiones en el sistema.

La *Robotics System Toolbox* de MATLAB permite generar cuerpos de colisión como paralelepípedos rectangulares (forma de caja) y cilindros. Estos cuerpos pueden trasladarse en el entorno mediante HTM y evaluarse para detectar colisiones. En el modelo digital se han utilizado estas geometrías simples, ensambladas mediante HTM, para generar un volumen de verificación libre de colisiones que garantice la seguridad de la máquina, del TSB y, por ende, de las personas cercanas al entorno de trabajo o que necesiten manipularla.

Dado que el ensamblaje de los cuerpos se realiza mediante HTM, comprobar que cada componente esté en la posición correcta y reproduzca el movimiento cinemático de la máquina puede resultar tedioso. Por esta razón, se desarrolló un modelo idéntico en Autodesk Inventor, un software de CAD 3D ampliamente utilizado para diseño mecánico. Este modelo, ensamblado con bloques y cilindros, utiliza la herramienta iLogic, que ofrece el software, para programar configuraciones dinámicas, replicando exactamente los mismos parámetros geométricos y cinemáticos del modelo digital.

Con esta réplica en Inventor, es posible verificar rápidamente las posiciones calculadas en MATLAB. Si alguna de las medidas de referencia entre el origen global y los orígenes de los cuerpos de colisión no coincide entre ambos programas, se puede identificar un error en los datos introducidos. Además, la interfaz de Inventor facilita la visualización, manipulación de vistas y medición, siendo más intuitiva y práctica que las herramientas gráficas disponibles en MATLAB.

Respecto a la geometría de la máquina y del dispositivo de medición incluidos en el modelo, sus componentes se han simplificado a 8 geometrías principales. De estas, 2 pertenecen al TSB, mientras que otras 2 (la mesa de la máquina y el soporte del *trunnion*) se mueven de forma solidaria. Estas geometrías están representadas en la figura 4.4. Cabe destacar que la geometría del TSB incluye un cilindro que simula el soporte que sujeta los brazos telescópicos, lo que permite verificar posibles autocolisiones entre los brazos telescópicos y el propio soporte.

En las figuras 4.5a y 4.5b se muestra la geometría nominal de la máquina y el visualizador de la geometría implementada en MATLAB. Como se puede observar, se han modelado únicamente los cuerpos de colisión que pueden tener influencia a la hora de verificar posibles colisiones entre los diferentes elementos, con excepción de la mesa, que se presenta como una geometría orientativa.

Es relevante mencionar que el ensamblaje de todos los cuerpos geométricos en MATLAB se ha realizado tomando como punto de referencia el origen del sistema de coordenadas O . Este punto es crucial en el modelo, ya que concentra todos los sistemas de coordenadas (salvo el sistema C , el cual se sitúa sobre la superficie del plato, la cual presenta un decalaje de 3 mm por debajo del eje de giro A , ver figura 4.17, según el fabricante [23]) cuando las coordenadas de la máquina son $[0, 0, 0, 0, 0, 0]$.

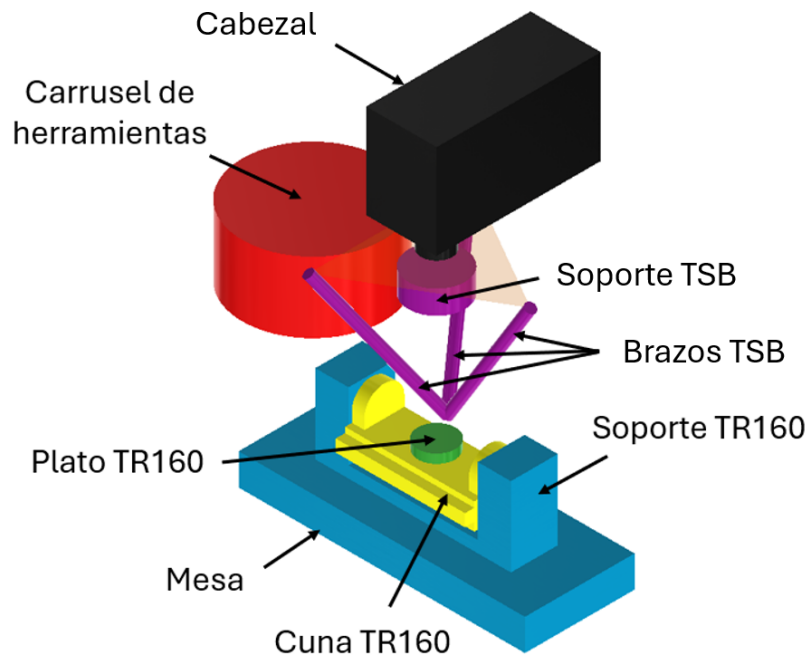
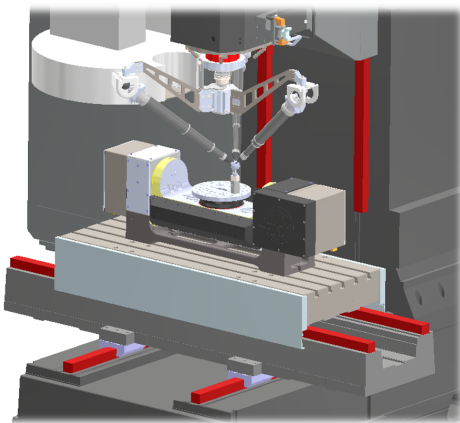
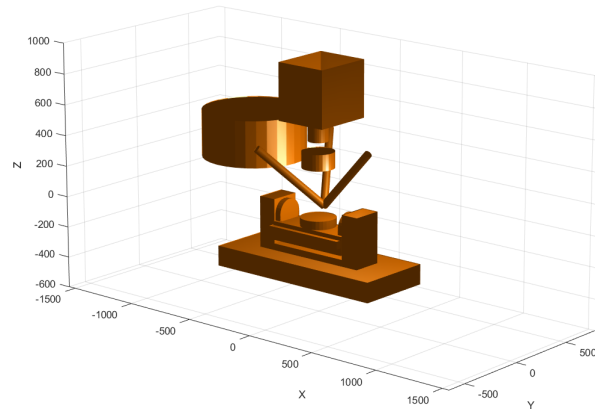


Figura 4.4: Esquema de la geometría introducida en el modelo digital.

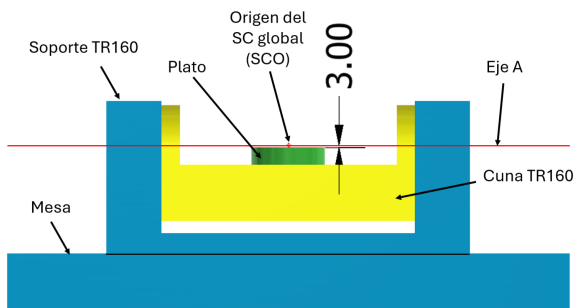


(a) CAD 3D nominal en Inventor.

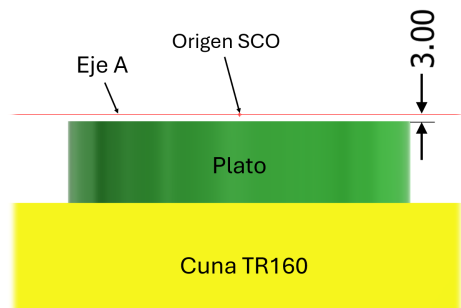


(b) Cuerpos de colisión en MATLAB.

Figura 4.5: Vista de los componentes ensamblados.



(a) Vista frontal.



(b) Vista frontal aumentada.

Figura 4.6: Vista de los 3 mm de decalaje entre el eje de giro *A* y el plato del *trunnion*.

A continuación, se presentan las dimensiones introducidas en el modelo geométrico. No se incluyen las HTM utilizadas para el ensamblaje de los componentes, ya que corresponden a traslaciones y rotaciones elementales que no aportan información significativa para ser mencionadas en este informe. Cabe destacar que las figuras con las geometrías nominales solo muestran las cotas relevantes para la verificación de colisiones, omitiendo las cotas no necesarias. Estas cotas han sido ajustadas en el modelo geométrico para dejar un margen de seguridad, mientras que las cotas no indicadas en las figuras de geometrías nominales se mantienen según las obtenidas en el CAD 3D proporcionado por el fabricante [23].

- Mesa + Soporte TR160

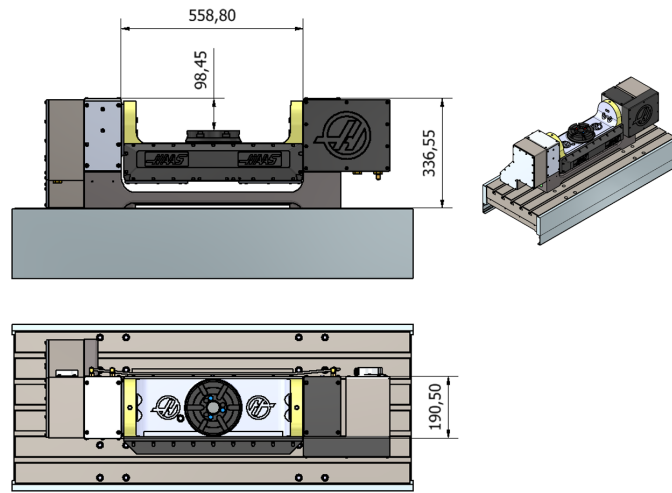


Figura 4.7: Dimensiones restrictivas del conjunto Mesa + Soporte TR160.

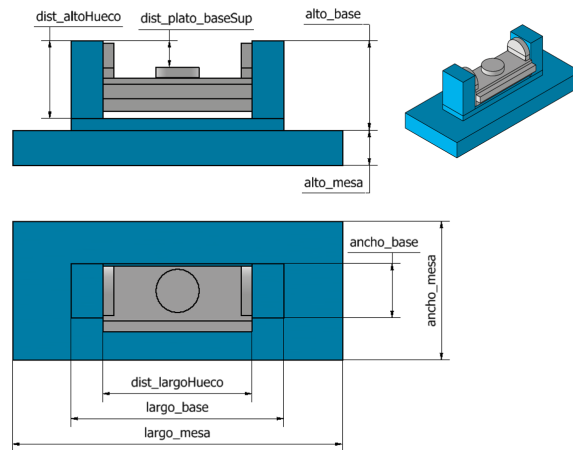


Figura 4.8: Esquema de los parámetros necesarios para dimensionar el conjunto Mesa + Soporte TR160 en el modelo.

Tabla 4.3: Dimensiones del conjunto Mesa + Soporte TR160 introducidas en el modelo.

Parámetro	Valor (mm)	Valor límite (mm)
<i>largo_mesa</i>	1219.2	—
<i>ancho_mesa</i>	510.7	—
<i>alto_mesa</i>	130	—
<i>largo_base</i>	787.4	—
<i>ancho_base</i>	200	190.50
<i>alto_base</i>	330	336.55
<i>dist_plato_baseSup</i>	100	98.45
<i>dist_altoHueco</i>	287.08	—
<i>dist_largoHueco</i>	550	558.80

• Cuna TR160

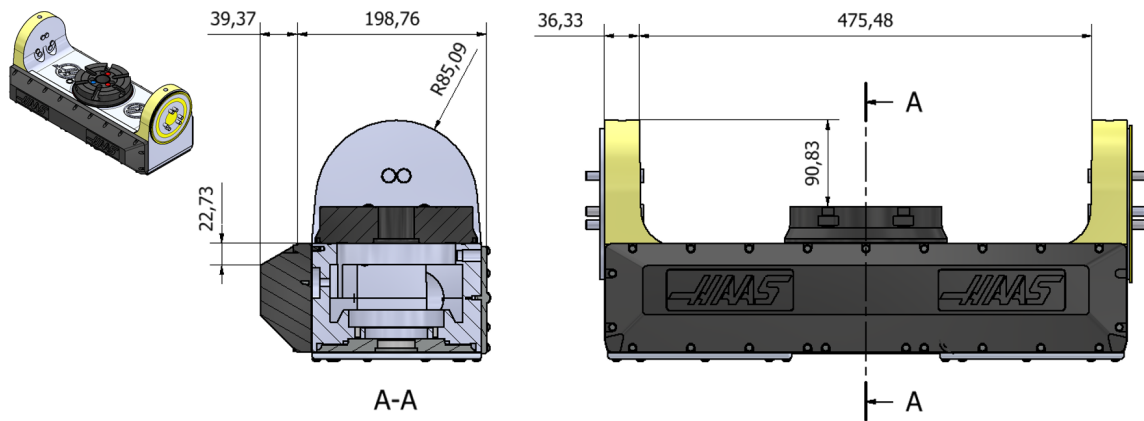


Figura 4.9: Dimensiones restrictivas de la cuna del TR160.

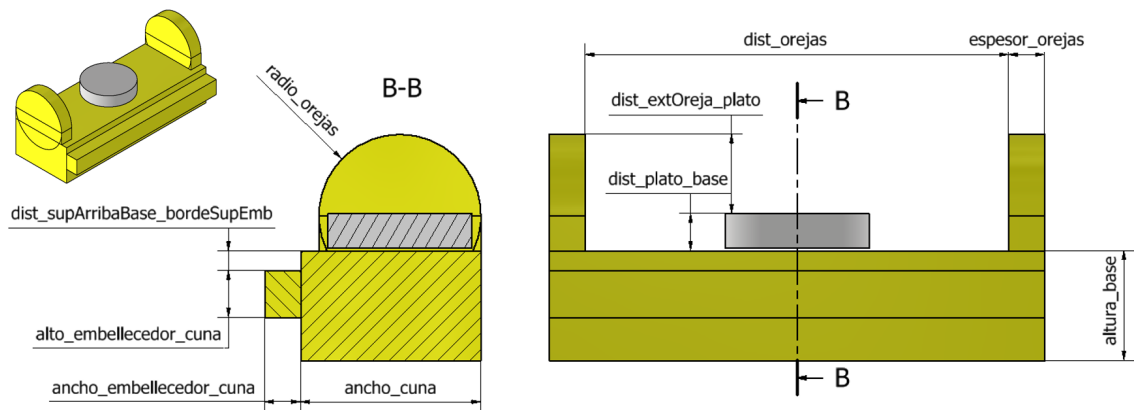
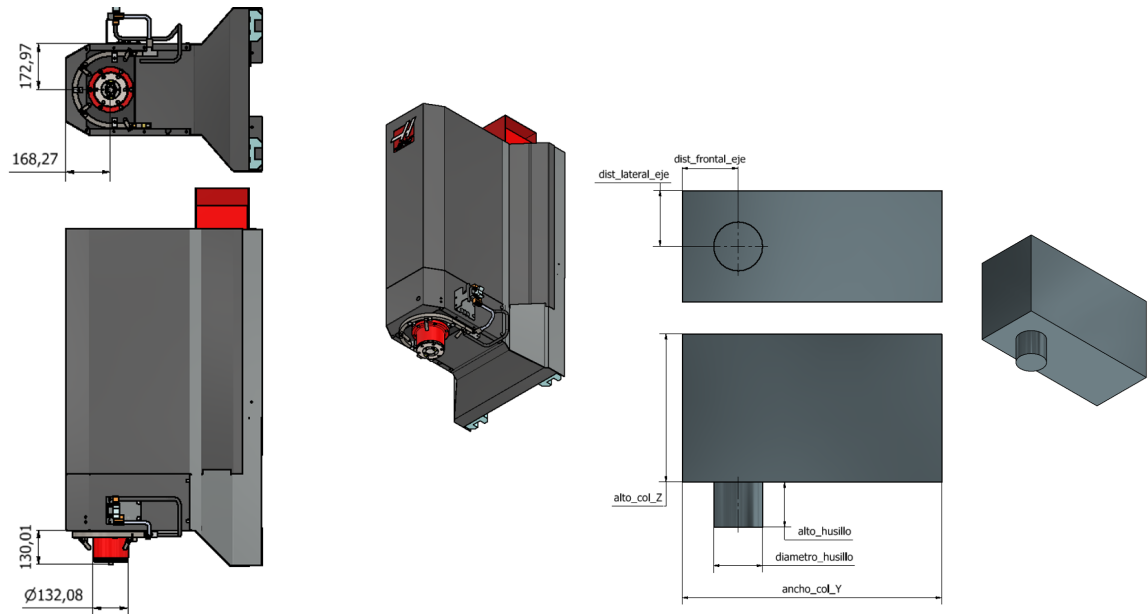


Figura 4.10: Esquema de los parámetros necesarios para dimensionar la cuna del TR160 en el modelo.

Tabla 4.4: Dimensiones de la cuna del TR160 introducidas en el modelo.

Parámetro	Valor (mm)	Valor límite (mm)
<i>radio_orejas</i>	90	85.09
<i>espesor_orejas</i>	40	36.33
<i>dist_orejas</i>	470	475.48
<i>dist_plato_base</i>	38.1	—
<i>dist_extOreja_plato</i>	91	90.83
<i>altura_base</i>	121.444	—
<i>ancho_cuna</i>	200	198.76
<i>ancho_embellecedor_cuna</i>	40	39.37
<i>dist_supArribaBase_bordeSupEmb</i>	22	22.73
<i>alto_embellecedor_cuna</i>	51.69	—

- Cabezal de la herramienta



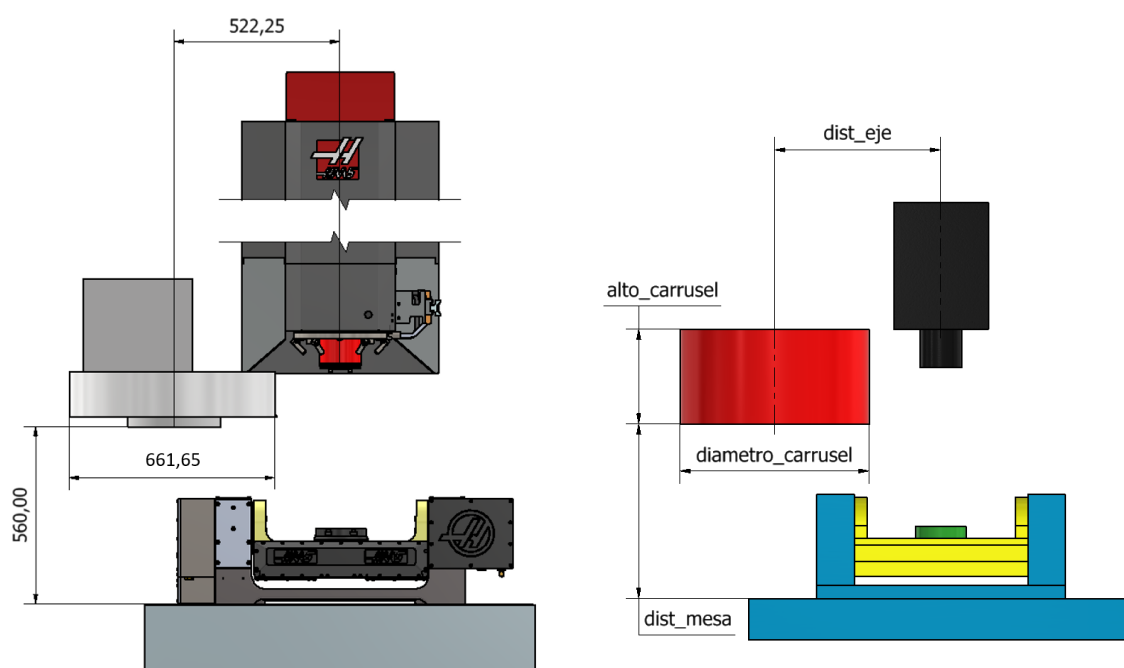
(a) Dimensiones restrictivas del cabezal de la herramienta. (b) Esquema de los parámetros necesarios para dimensionar el cabezal en el modelo.

Figura 4.11: Dimensiones y parámetros del cabezal de la herramienta.

Tabla 4.5: Dimensiones del cabezal introducidas en el modelo.

Parámetro	Valor (mm)	Valor límite (mm)
<i>diametro_husillo</i>	132.1	132.08
<i>alto_husillo</i>	130	130.01
<i>dist_frontal_eje</i>	170	168.27
<i>dist_lateral_eje</i>	175	172.97
<i>ancho_col_Y</i>	400	—
<i>alto_col_Z</i>	400	—

- Carrusel de herramientas



(a) Diámetro y posición del carrusel de herramientas.
(b) Esquema de los parámetros necesarios para dimensionar y posicionar el carrusel en el modelo.

Figura 4.12: Dimensiones y parámetros del carrusel de herramientas.

Tabla 4.6: Dimensiones del carrusel introducidas en el modelo.

Parámetro	Valor (mm)	Valor límite (mm)
<i>diametro_carrusel</i>	662	661.65
<i>alto_carrusel</i>	300	—
<i>dist_eje</i>	527.1	522.25
<i>dist_mesa</i>	552.5	560

- Plato

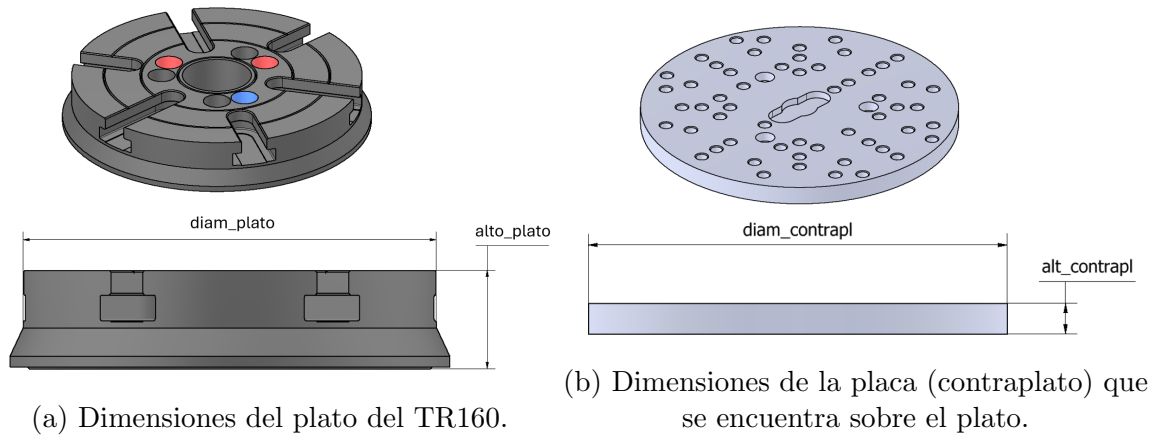


Figura 4.13: Dimensiones del plato y contraplato del TR160.

Tabla 4.7: Dimensiones del plato y del contraplato introducidas en el modelo.

Parámetro	Valor (mm)	Valor límite (mm)
<i>diam_plato</i>	160	—
<i>alto_plato</i>	38.1	—
<i>diam_contrapl</i>	230	—
<i>alt_contrapl</i>	16.55	—

- TSB

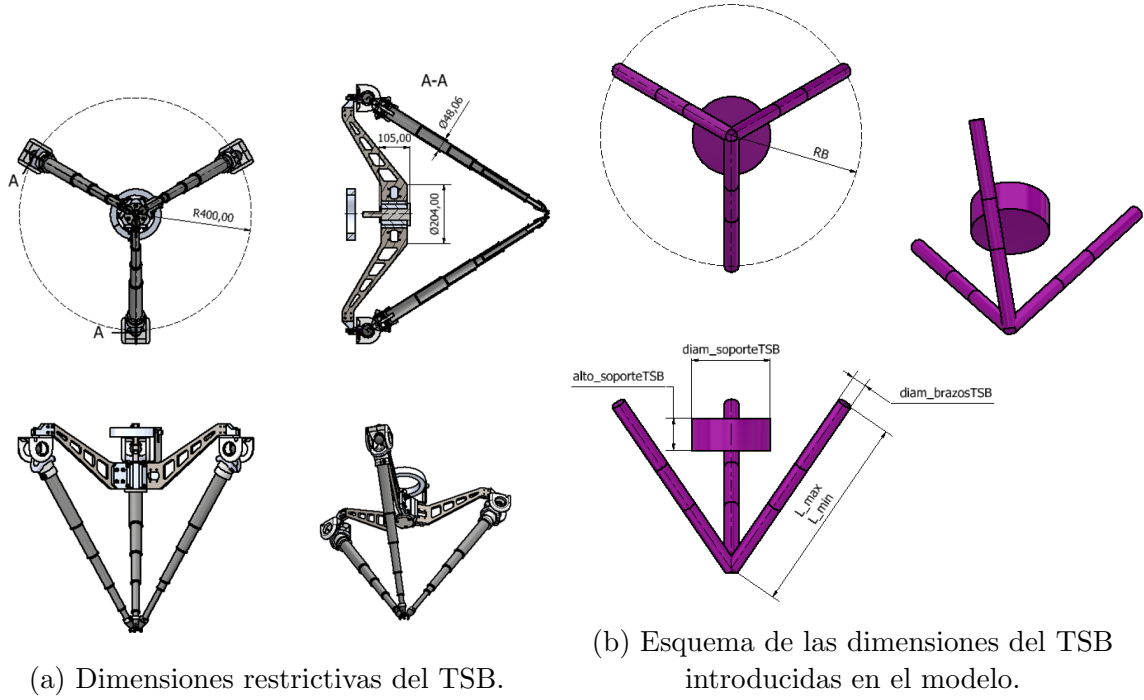


Figura 4.14: Dimensiones del TSB y su representación en el modelo.

Tabla 4.8: Dimensiones del TSB introducidas en el modelo.

Parámetro	Valor (mm)	Valor límite (mm)
RB	400	—
L_{min}	500	400
L_{max}	900	1050
$diam_brazosTSB$	50	—
$diam_soporteTSB$	210	—
$alto_soporteTSB$	105	—

Con esto, quedan definidas todas las geometrías introducidas en el modelo digital. Sin embargo, es importante destacar que, aunque estas geometrías están ensambladas tomando como referencia el origen del sistema de coordenadas O , están vinculadas al movimiento de los ejes. Por lo tanto, es necesario asociarlas a una HTM que permita describir sus movimientos en el espacio O . Las HTM que definen los movimientos de los cuerpos geométricos son las siguientes:

- Mesa + Soporte TR160

$${}^O\mathbf{H}_X = {}^O\mathbf{H}_Y \cdot {}^Y\mathbf{H}_X \quad (4.39)$$

- Cuna TR160

$${}^O\mathbf{H}_A = {}^O\mathbf{H}_X \cdot {}^X\mathbf{H}_A \quad (4.40)$$

- Plato

$${}^O\mathbf{H}_C = {}^O\mathbf{H}_A \cdot {}^A\mathbf{H}_B \cdot {}^B\mathbf{H}_C \quad (4.41)$$

- Cabezal de la herramienta

$${}^O\mathbf{H}_Z \quad (4.42)$$

- TSB

$${}^O\mathbf{H}_{DM} = {}^O\mathbf{H}_Z \cdot {}^Z\mathbf{H}_{DM} \quad (4.43)$$

Como nota adicional para cerrar este apartado, se ha mencionado que el origen de O está contenido en el eje A definido por el fabricante. Sin embargo, este eje no necesariamente coincide con el eje de giro real de la máquina una vez se introducen los EG. El origen O se considera centrado en el plato de giro, equidistante a los bordes de la cuna en la dirección X de la máquina. Para posicionar correctamente el TSB en el modelo digital, es indispensable conocer la ubicación exacta del punto de origen del ensamblaje del cabezal. Este punto servirá como referencia para calcular los decalajes necesarios que permitan posicionar el TSB con precisión. En la figura 4.15 se ilustra, en el CAD proporcionado por el fabricante [23], el punto de origen del ensamblaje del cabezal de la herramienta.

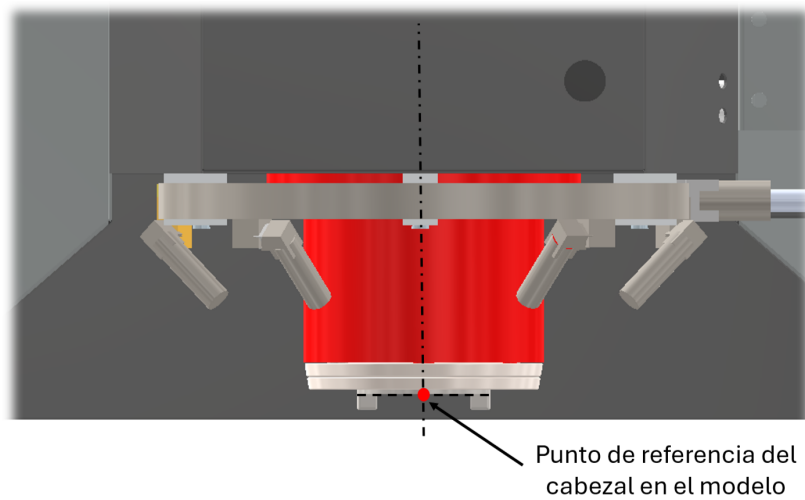


Figura 4.15: Punto de referencia del cabezal a partir del cual ha de medirse el decalaje del TSB.

4.2. Definición de Ensayos

El diseño de ensayos para la verificación de una MH de 5 ejes es un desafío complejo, especialmente cuando se busca minimizar el tiempo de parada de la máquina respecto a la producción, reducir el coste computacional y realizar una caracterización rápida de los EG. Además, es fundamental que los ensayos permitan identificar los 41 EG, o al menos las 30 funciones de error que identifican 30 PDGE (incluyendo dentro de estas funciones los PIGE de forma implícita), que contienen los ejes de la máquina, con los datos capturados en dichas pruebas.

Para lograr una identificación precisa de los EG, se han propuesto cuatro tipos de ensayos de medición diferentes. La diferencia entre estos ensayos radica en los ejes que se mueven durante el proceso de captura de datos. Cabe destacar que con ninguno de estos ensayos por si solo puede utilizarse para identificar la totalidad de los EG, ya que en ninguno de ellos se considera mover los 5 ejes de la MH durante el proceso de captura de datos.

4.2.1. Tipos de Ensayos

Los tipos de ensayos propuestos para la verificación de la máquina son cuatro. Uno de ellos se centra en caracterizar los EG asociados a los ejes de traslación (X , Y , Z), mientras que los otros tres involucran movimientos de los ejes de rotación (A , C). La nomenclatura de los ensayos es XYZ , ABC , A y C , basada en los ejes que se mueven durante cada ensayo. Es importante señalar que, en los ensayos de tipo ABC , el eje B no se mueve porque no existe en la máquina; su denominación simplemente indica que se activan todos los ejes de rotación disponibles.

- **Ensayo XYZ**

En este ensayo se activan todos los ejes de traslación de la máquina (X , Y , Z), mientras que los ejes A y C permanecen fijos en 0° . El objetivo es caracterizar los 3 errores de perpendicularidad entre estos ejes y los 18 PDGE asociados. La activación de los 3 ejes permite capturar puntos distribuidos por el volumen de trabajo de la máquina, lo que facilita una identificación global de los errores.

Aunque este enfoque no garantiza una identificación precisa de cada error debido al solapamiento e interacciones entre los 21 EG involucrados, la compensación conjunta de todos ellos debería minimizar su influencia en las desviaciones

globales de la máquina. En la figura 4.16a se muestra un esquema de los ejes que se mueven durante este ensayo.

- **Ensayo *ABC***

Este tipo de ensayo, conceptualmente similar al anterior, activa el movimiento de todos los ejes de rotación de la máquina (*A*, *C*) con el objetivo de caracterizar los 20 EG asociados a estos ejes. Durante el ensayo, los ejes de traslación (*X*, *Y*, *Z*) permanecen fijos, con *X* e *Y* en la posición de 0 mm, mientras que el eje *Z*, para obtener un volumen de medición más amplio, se posiciona aproximadamente en su extremo superior, a unos 500 mm por encima del eje *A* de la máquina.

Al igual que en el caso anterior, este enfoque no garantiza una identificación precisa de los errores por separado sino una compensación conjunta de todos ellos que trate de minimizar las desviaciones de la máquina cuando se pretende orientar la pieza de trabajo en cualquier dirección. La figura 4.16b muestra un esquema de los ejes que se mueven durante este ensayo.

Cabe destacar que, para evitar movimientos indeseados de la máquina que puedan comprometer los límites de los brazos telescópicos del TSB debido a una contracción excesiva, se ha optado por considerar únicamente puntos del eje *A* que permitan realizar giros completos del eje *C*. Si bien esta decisión más conservadora puede reducir los ángulos límite del eje *A*, fijados por el ángulo de colisión de la cuna con los brazos del TSB, garantiza que este tipo de ensayos puedan realizarse físicamente de forma segura.

- **Ensayo *A***

Los ensayos de este tipo están diseñados para caracterizar de manera más precisa los EG asociados al eje *A*, minimizando la interacción con los errores de movimiento de otros ejes. Este enfoque permite verificar si las funciones de error obtenidas para los PDGE de este eje son consistentes con las obtenidas en el ensayo *ABC* y facilita una caracterización más directa de los 4 PIGE asociados mediante el promedio de los puntos medidos. Pero como contrapunto, las funciones de error identificadas no tienen por qué compensar de forma global los errores de la máquina cuando se combina con el eje de giro *C*.

Durante este ensayo, los ejes de traslación permanecen en las mismas posiciones que en el ensayo *ABC*, mientras que el eje de rotación *C* se mantiene fijo en 0°, siendo *A* el único eje en movimiento (vea figura 4.16c).

- **Ensayo *C***

Este tipo de ensayos es análogo al ensayo *A*, pero en este caso solo se mueve el eje *C* de la máquina, como se muestra en la figura 4.16d. El objetivo es el mismo que en los ensayos del tipo *A*, permitiendo caracterizar los EG asociados al eje *C* de manera precisa y sin la interacción con otros ejes.

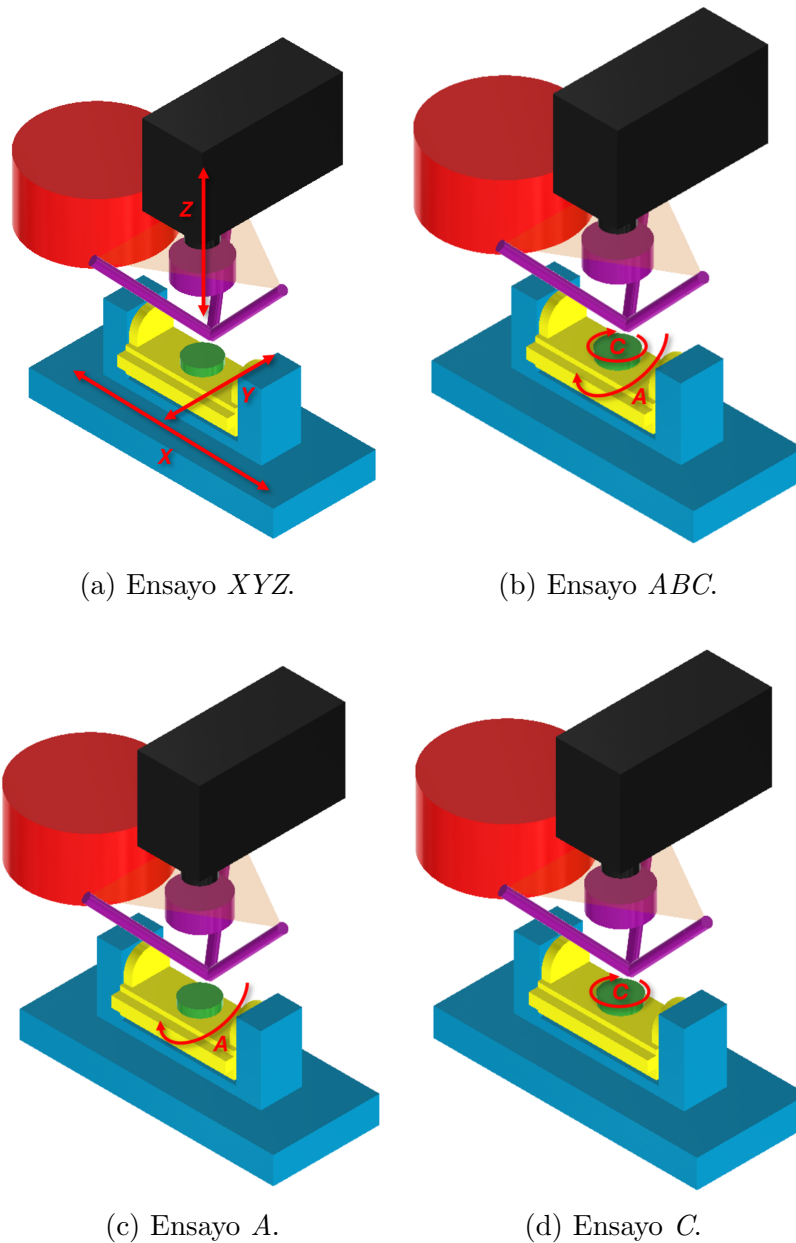


Figura 4.16: Esquemas de los ejes de activos en cada tipo de ensayo.

El diseño de los ensayos no consiste simplemente en mover los ejes para capturar puntos de manera arbitraria. Es fundamental considerar las posibles colisiones dentro del modelo, así como respetar los recorridos límite de la máquina y los límites de los

brazos telescópicos del TSB. Los rangos límite de los brazos telescópicos introducidos en el modelo se detallaron en la tabla 4.8. Por otro lado, los límites de recorrido de la máquina no se habían especificado hasta ahora.

La tabla 4.9 recoge los valores límite de los recorridos de la máquina definidos en el modelo, los cuales están ajustados respecto a los límites reales proporcionados por el fabricante [23]. Esta reducción de los límites se ha realizado tras verificar que, con un acortamiento máximo de 500 mm en el brazo telescópico (ver tabla 4.8), ningún punto de medición puede situarse fuera de estos valores. Este ajuste tiene como objetivo reducir la carga computacional del algoritmo de detección de colisiones y límites de medición empleado en los ensayos de tipo *XYZ*, al evitar verificaciones innecesarias fuera de los rangos operativos que marcan los brazos del TSB.

Tabla 4.9: Límites de recorrido de los ejes de la máquina.

Eje	Máximo_{modelo}	Mínimo_{modelo}	Máximo_{límite}	Mínimo_{límite}
X	200 mm	-400 mm	511.5 mm	-504.5 mm
Y	250 mm	-220 mm	274.8 mm	-233.2 mm
Z	500 mm	300 mm	501.1 mm	-139.3 mm
A	120°	-120°	120°	-120°
C	180°	-180°	180°	-180°

Conocidos los límites que ningún punto de medición puede sobrepasar, lo ideal es identificar un entorno seguro de medición en el que se ubiquen los puntos a medir. En ensayos en los que intervienen movimientos de varios ejes, como en los ensayos tipo *XYZ* y *ABC*, existen dos formas principales de distribuir los puntos de medición.

Por un lado, se encuentra una opción más estructurada en la que los puntos se distribuyen equidistantemente en cada eje de movimiento. Como ejemplo, en un ensayo tipo *XYZ*, los puntos se distribuyen en un entorno 3D siguiendo una malla regular. Este tipo de distribución, como se muestra en la figura 4.17a, se denomina distribución tipo malla.

Sin embargo, este enfoque puede conducir a la evaluación redundante de los EG en ciertas combinaciones de coordenadas. Para mitigar esta redundancia, se propone un enfoque alternativo en el que los puntos de medición se distribuyen de manera no alineada respecto a una malla regular. En este caso, las posiciones de los puntos se generan introduciendo variaciones aleatorias alrededor de los nodos de la malla, lo

que permite evaluar los errores en diferentes combinaciones de coordenadas. Este tipo de distribución, conocida como distribución tipo nube, se ejemplifica en la figura 4.17b.

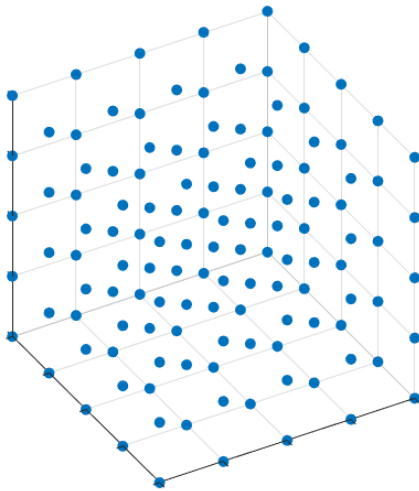
Matemáticamente, sea $\mathbf{p}_i^{malla} = (x_i, y_i, z_i) \in \mathbb{R}^3$ un punto cualquiera de un mallado uniforme, como en la figura 4.17a, se altera su posición de forma aleatoria en el espacio 3D para romper con la estructura ordenada que supone este tipo de distribución. El nuevo punto con variaciones, denotado como $\mathbf{p}_i^{nube}$, se obtiene sumando un vector de desplazamiento aleatorio $\mathbf{r}_i = (\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i)$ a las coordenadas originales:

$$\mathbf{p}_i^{nube} = \mathbf{p}_i^{malla} + \mathbf{r}_i \quad (4.44)$$

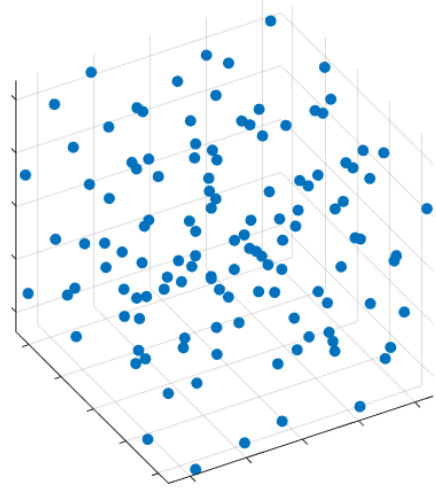
Donde $\mathbf{r}_i = (\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i) \in \mathbb{R}^3$ es el vector de variación aleatoria, y cada componente Δx_i , Δy_i , Δz_i es generado independientemente dentro de un intervalo específico para cada coordenada, es decir:

$$\Delta x_i \sim U\left(-\frac{\Delta_x}{2}, \frac{\Delta_x}{2}\right), \quad \Delta y_i \sim U\left(-\frac{\Delta_y}{2}, \frac{\Delta_y}{2}\right), \quad \Delta z_i \sim U\left(-\frac{\Delta_z}{2}, \frac{\Delta_z}{2}\right)$$

Aquí, Δ_x , Δ_y , y Δ_z son los intervalos de variación en las direcciones X , Y , y Z , respectivamente. Estos intervalos pueden ser diferentes entre sí, reflejando imprecisiones específicas en cada dirección del espacio. Como resultado, el nuevo punto $\mathbf{p}_i^{nube}$ es el resultado de sumar estas variaciones $\mathbf{r}_i$ al punto original $\mathbf{p}_i^{malla}$.



(a) Tipo malla 3D.



(b) Tipo nube 3D.

Figura 4.17: Tipos de distribución de puntos de medición en los ensayos.

4.2.2. Detección de colisiones y límites de medición

Para garantizar que durante el proceso de captura de datos los puntos de medición no se encuentren en unas coordenadas que pongan en riesgo la máquina, el dispositivo de medición, o al personal que se encuentre en las proximidades del entorno de verificación, se ha desarrollado un sistema de exploración que genera puntos “seguros” dentro del espacio de trabajo. Este sistema asegura que los puntos estén libres de colisiones y dentro de los límites estipulados tanto por la máquina como por el TSB.

La estrategia consiste en generar puntos posicionales denominados *puntos de exploración*, los cuales se introducen en el modelo cinemático de la máquina (definido en el apartado 4.1.2). A partir de estos puntos, se simulan los movimientos de los cuerpos geométricos que representan la geometría de la máquina (descritos en el apartado 4.1.3).

Este proceso permite:

- Detectar colisiones entre las geometrías de la máquina.
- Verificar que los puntos no excedan los límites establecidos para los brazos telescópicos del TSB.

Aunque no se ha entrado en detalle en el apartado 4.1.2, el modelo cinemático calcula la longitud de los brazos telescópicos utilizando ${}^O\mathbf{H}_{DM}$ (ecuación 4.43) y ${}^O\mathbf{H}_W$, que se obtiene al multiplicar ${}^O\mathbf{H}_C \cdot {}^C\mathbf{H}_W$ (definidas en las ecuaciones 4.41 y 4.36 respectivamente). Con esta información, se determina la posición y orientación del TSB en el sistema de coordenadas O , así como la posición del centro de la esfera de medición en el mismo sistema. Esto permite calcular las distancias entre el centro de cada nido del TSB y la esfera de medición, que se corresponden con las longitudes de los brazos telescópicos, verificando así que estas se encuentren dentro de los límites indicados en la tabla 4.8. Los puntos que cumplen estas condiciones se clasifican como válidos para la medición.

Sin embargo, las estrategias utilizadas para generar el entorno seguro de exploración dependen del tipo de ensayo. Estas estrategias varían de la siguiente manera:

- **En ensayos tipo *XYZ***

Una primera estrategia para la exploración del entorno consistió en realizar un mallado uniforme con un paso pequeño, permitiendo adaptarse con precisión a

los límites de medición y bordear las posibles colisiones. Sin embargo, aplicar esta estrategia en todo el volumen de trabajo de la máquina resultaba inviable debido al elevado tiempo de computación requerido, lo que llevó a descartarla de inmediato.

El principal problema de esta estrategia es que aplica un mallado fino en zonas donde no es necesario. Por ejemplo, en áreas donde se sabe que el modelo excede los límites de medición de los brazos telescópicos o, por el contrario, en regiones alejadas de las fronteras de medición, el mallado fino no aporta ningún beneficio práctico, pero aumenta significativamente el costo computacional. Estas áreas críticas, donde los puntos medibles están próximos a los límites o posibles colisiones, se denominan “fronteras de medición”.

La estrategia implementada para resolver este problema es un mallado adaptativo, que comienza con un paso inicial grande entre puntos. Cuando se detecta que un punto vecino a otro previamente identificado como medible no cumple las condiciones de medición, se reduce el paso en esa región a la mitad. Los puntos medibles cercanos a estas zonas conflictivas generan, a su vez, nuevos puntos siguiendo el patrón adaptativo. Este proceso se repite iterativamente, reduciendo el paso a la mitad en cada iteración, hasta alcanzar un valor límite predefinido.

Para optimizar el procedimiento, los puntos generados en cada iteración se filtran para evitar duplicados antes de ser evaluados. Este enfoque adaptativo permite concentrar los cálculos en las zonas próximas a las fronteras de medición, reduciendo drásticamente el tiempo de computación y obteniendo resultados eficientes. Un ejemplo de este mallado adaptativo se muestra en la figura 4.18.

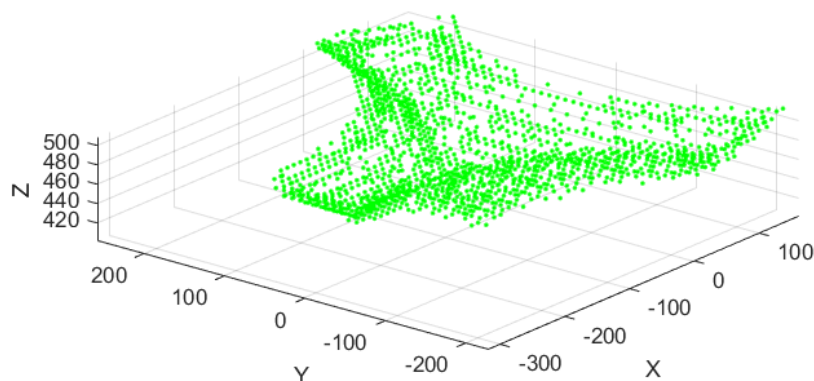


Figura 4.18: Ejemplo del mallado adaptativo de exploración en ensayo XYZ.

El manejo de una matriz que contenga todos los puntos de exploración, con el objetivo de garantizar que los puntos de medición sean seguros y que la trayectoria

de la máquina no exceda la frontera de medición, resulta poco práctico debido a la complejidad computacional. Por ello, se ha optado por generar una superficie envolvente que contiene todos estos puntos y simula la frontera de medición. Esta superficie permite verificar rápidamente si los puntos de medición se encuentran dentro de un área segura (ver figura 4.19a).

Dado que los puntos próximos a esta frontera pueden no ser completamente fiables, se ha implementado un desplazamiento (*offset*) de la superficie en dirección normal hacia su interior, generando un margen de seguridad. En la figura 4.19b se muestra el resultado, donde la superficie frontera se representa en rojo y la superficie resultante tras aplicar el *offset* en azul. Para una mejor visualización, se ha eliminado la parte superior de ambas superficies, permitiendo apreciar claramente la diferencia entre ellas. Esto asegura que los puntos generados para la medición se encuentren dentro de un entorno completamente seguro, minimizando riesgos durante el proceso.

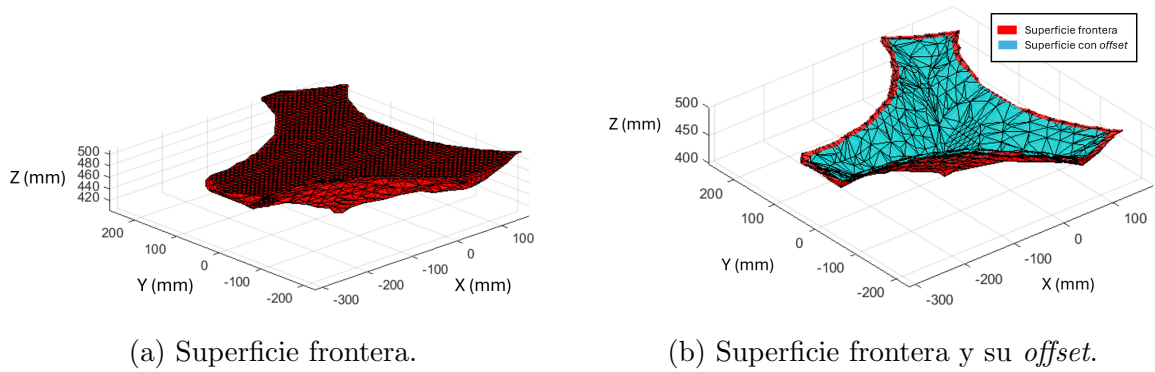


Figura 4.19: Superficies que delimitan la frontera de exploración en los ensayos XYZ.

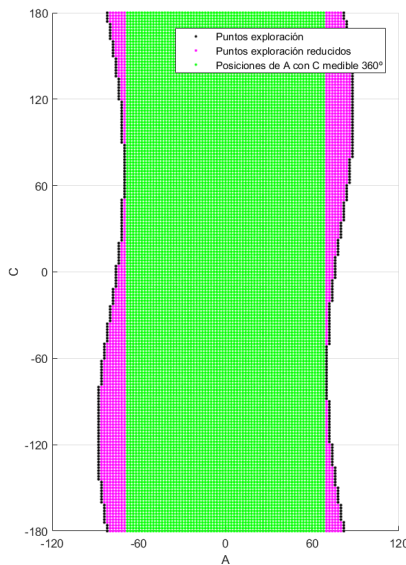
- **En ensayos tipo *ABC***

Para este tipo de ensayos, a diferencia de lo observado en los XYZ, al mover los ejes *A* y *C* se obtiene en el espacio 3D una superficie esférica parcial, como se muestra en la figura 4.20b.

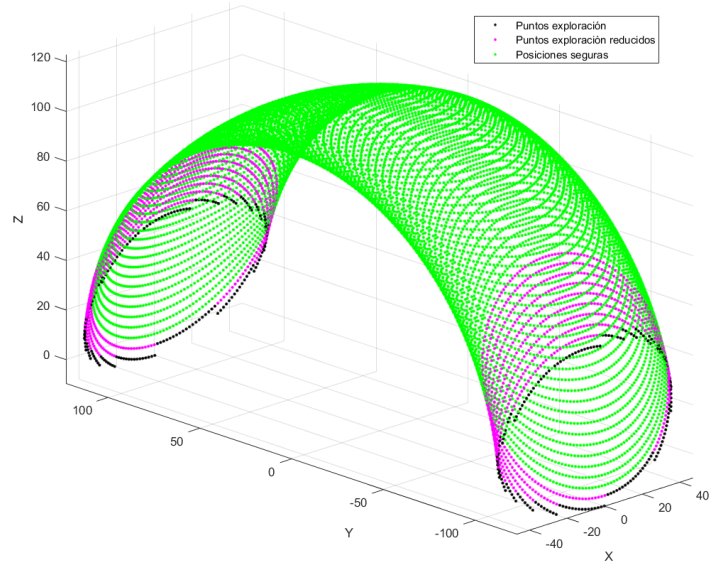
En el caso XYZ, la frontera del volumen seguro se definía por una superficie envolvente externa a este. Sin embargo, en este caso, los límites de medición están determinados principalmente por el ángulo de la cuna (*A*), lo que requiere especial atención. Para este análisis, se ha optado por realizar un mallado uniforme, como se ilustra en la figura 4.20a. Esta estrategia requiere un mucho menor tiempo de computación que el mallado uniforme en los ensayos de tipo XYZ, ya que con un paso de 2° en cada eje se obtiene un mallado completo en aproximadamente

un minuto. Además, evita problemas asociados a un mallado adaptativo, como el riesgo de acortamiento excesivo de los brazos telescópicos del TSB en las zonas altas de la superficie, que con un mallado inicial de paso muy grande podrían no detectar este tipo de zonas, lo que podría superar los límites mecánicos y suponer un peligro en un ensayo físico. Un mallado uniforme permite detectar estos acortamientos extremos y, en caso de ocurrir, anula la simulación. La única solución en estos casos sería ajustar la posición de la esfera (soportes de menor altura) o del TSB (subir en el eje Z) para diseñar de forma correcta los ensayos.

En este caso, no es posible realizar un *offset* como en el caso XYZ para mantener una distancia de seguridad. Por ello, se eliminan directamente los puntos situados en las zonas de colisión (marcados en negro en la figura 4.20a), garantizando un margen de seguridad al menos igual al paso de exploración. Además, cuando el eje A alcanza sus ángulos límite, el giro del eje C deja de ser completo. Para evitar movimientos indeseados de la máquina en estas zonas críticas, como se mencionó en el apartado 4.2.1, se descartan los ángulos de A en los que C no puede girar 360° , representados por los puntos magenta en la figura 4.20a. La zona segura está delimitada por los puntos verdes de la figura, siendo esta la zona en la que se encontrarán los puntos de medición de los ensayos.



(a) En espacio 2D (A, C).



(b) En espacio 3D (X, Y, Z).

Figura 4.20: Ejemplos de puntos de exploración utilizados y descartados para los ensayos tipo ABC .

• En ensayos tipo A o C

Para estos casos, el chequeo de colisiones y límites de medición es rápido y

sencillo, ya que solo se mueve un único eje. El mallado es uniforme, al igual que en el caso anterior, y el paso de exploración es exactamente el mismo. En los ensayos tipo *C*, no debería producirse ninguna colisión ni excederse ningún límite, dado que todos los ejes están a 0, excepto el eje *Z*, que se encuentra en su punto máximo de recorrido, y el eje *C*, que es el eje móvil en este tipo de ensayos. Esto permite generar puntos de medición en todo el recorrido del eje *C*. Sin embargo, en el caso de los ensayos de tipo *A*, al inclinar la cuna más allá de cierto ángulo, los brazos del TSB colisionan, definiendo así el ángulo límite hasta el cual es posible generar puntos de medición.

4.2.3. Posicionamiento de la esfera de medición

El posicionamiento de la esfera de medición es clave para definir los ensayos de verificación. Existen gran variedad de opciones, como situarla en el centro del plato, en los extremos o a distintas alturas, y la opción elegida puede ser determinante para capturar desviaciones asociadas a un mayor volumen de trabajo de la máquina. Sin embargo, un posicionamiento inadecuado podría resultar ineficiente y limitar la capacidad de identificar correctamente los EG. Por ello, la elección adecuada de los soportes para fijar la esfera es fundamental.

Debido a la complejidad de analizar analíticamente todas las posibles posiciones y combinaciones, se han empleado los algoritmos de exploración de límites y colisiones mencionados en el apartado 4.2.2 para que simulen diferentes configuraciones de la esfera sobre el contraplato (situado sobre el plato giratorio del *trunnion*), variando también la longitud del soporte utilizado para fijarla.

En este análisis, se ha considerado que la esfera está centrada en cualquiera de los agujeros del contraplato acotados en la figura 4.21, suponiendo que esa es la ubicación de la esfera durante los ensayos. En la práctica, el soporte utilizado debería diseñarse para posicionar la esfera de medición utilizando al menos tres agujeros no alineados, lo que garantizaría un posicionamiento preciso sobre el contraplato. No obstante, el diseño de dichos soportes queda fuera del alcance de este trabajo y, por tanto, los resultados obtenidos se toman como una orientación preliminar para el futuro desarrollo de unos soportes adecuados que permitan realizar los ensayos con la precisión requerida. La figura 4.21 muestra las cotas de los agujeros del contraplato, suponiendo que la esfera está situada con su centro alineado con la posición de estos agujeros.

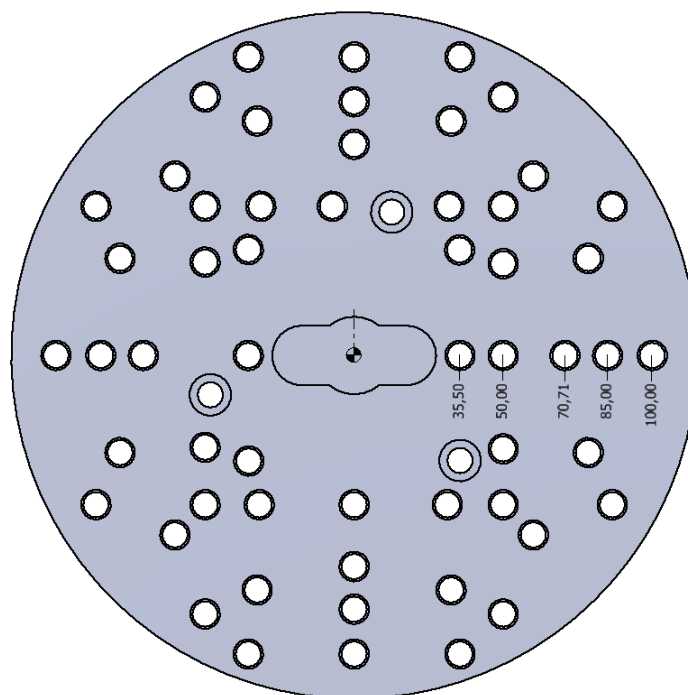


Figura 4.21: Cotas de los agujeros del contraplato utilizadas para el análisis del posicionamiento de la esfera de medición en los ensayos.

El análisis se ha realizado considerando la posición de la esfera en los puntos definidos en la figura 4.21 a diferentes alturas. El criterio empleado para determinar la conveniencia de un soporte y su posición se basa en el número de puntos de medición que se pueden generar con una estructura tipo malla (ver figura 4.17a), utilizando el paso de mallado indicado en la tabla 4.10 para cada eje. Los resultados de este análisis, realizado para los ensayos tipo *XYZ* y *ABC* (considerados los más relevantes en este estudio), se presentan en la figura 4.22.

Tabla 4.10: Paso de medición empleado para el análisis del posicionamiento de la esfera.

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	A (°)	B (°)	C (°)
Ensayo XYZ	50	50	20	0	0	0
Ensayo ABC	0	0	0	20	0	45

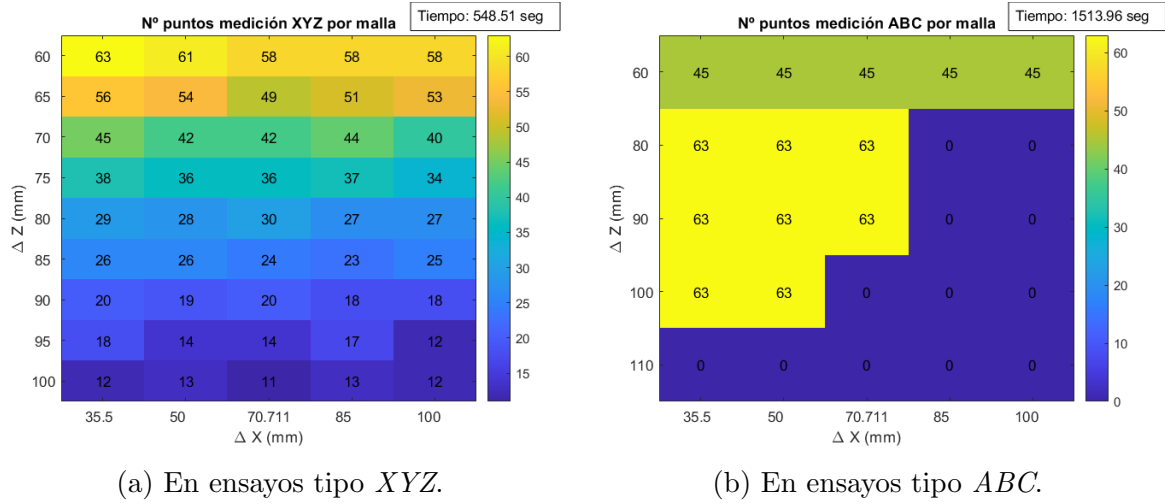


Figura 4.22: Análisis de puntos de medición viables modificando el posicionamiento de la esfera de medición para ensayos en los que interviene más de un eje de movimiento.

Como se observa en la figura 4.22b, con el paso definido para el eje *A*, los puntos de medición presentan variaciones mínimas al emplear una malla estructurada. Este análisis sugiere que aproximadamente se obtendrán entre 45 y 63 puntos de medición, siendo los valores nulos aquellos que generan configuraciones donde los brazos telescópicos del TSB se contraen más allá de los límites permitidos. Un aspecto clave es determinar el ángulo límite que permite rotar el eje *A* en este tipo de ensayos, ya que un rango de inclinación más amplio permite caracterizar de una mejor forma los EG de dicho eje. La figura 4.23 muestra cómo se ven afectados estos valores límite del eje *A*, donde la escala de colores caría en función de la diferencia entre la inclinación máxima y mínima permitida en eje *A*.

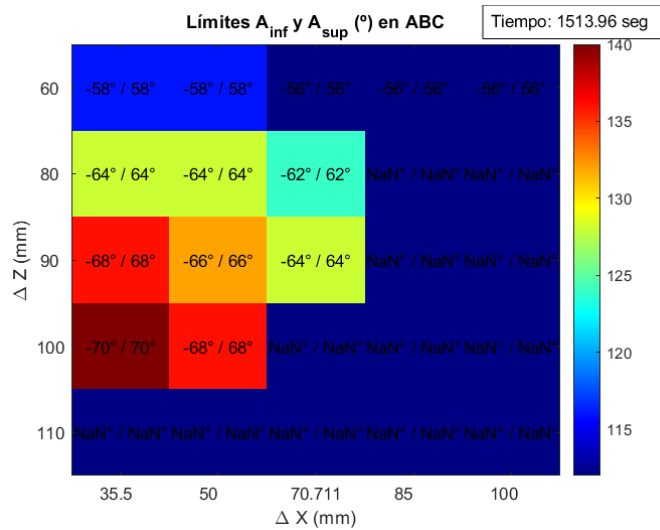


Figura 4.23: Análisis de los ángulos límite del eje *A* en los ensayos *ABC* en función del posicionamiento de la esfera de medición.

Antes de seleccionar, en base a los resultados obtenidos, el posicionamiento de la esfera a emplear, es importante destacar que, para garantizar consistencia entre los diferentes tipos de ensayo, lo más recomendable sería realizar todas las pruebas utilizando el mismo soporte. Esto permite minimizar los errores asociados al propio posicionamiento de la esfera. Sin embargo, capturar datos con la esfera en una única posición podría no ser suficiente para separar correctamente los PDGE. Por este motivo, se propone realizar los ensayos con dos soportes diferentes para cada tipo de prueba. Este enfoque permite al algoritmo combinar las mediciones de ambas posiciones y desacoplar errores que, con una única posición, podrían identificarse de forma incorrecta.

Con base en los resultados mostrados en las figuras 4.22 y 4.23, se selecciona un posicionamiento de la esfera a una distancia de 50 mm del centro del contraplato. Las alturas de los soportes empleados serán de 60 mm y 80 mm, pudiendo ser esta última una extensión adicional al soporte base que eleve la esfera esos 20 mm. Cabe destacar que, cuanto más se aproxima la esfera al centro del plato, mayor es la altura límite a la que puede posicionarse en los ensayos tipo *ABC*. Sin embargo, esta proximidad al eje de giro *C* reduce la influencia de los EG del eje sobre las desviaciones del posicionamiento de la esfera.

Por tanto, dado que no se observa una diferencia significativa entre un posicionamiento (ΔX) a 35.5 mm y otro a 50 mm del centro del plato, a alturas (ΔZ) de 60 y 80 mm, se opta por la opción de 50 mm. Este posicionamiento se encuentra ligeramente más alejado del centro del eje de giro *C*, optimizando la caracterización de los errores.

4.2.4. Trayectorias de la máquina

Una vez identificados los puntos a capturar durante los ensayos y verificada su viabilidad dentro de una zona que no presenta riesgo de colisiones ni excede los límites fijados, es necesario generar las trayectorias de la máquina que permitan alcanzar dichos puntos. Estas trayectorias deben permanecer dentro de la denominada *zona segura*, evitando colisiones y contracciones excesivas de los brazos telescópicos del TSB.

Es importante considerar que los EG pueden manifestarse de manera diferente dependiendo del sentido en que se recorre el eje. Esto se debe al juego mecánico,

originado por la holgura entre los componentes que accionan el movimiento, lo cual afecta tanto la precisión como la repetibilidad de la máquina. Para mitigar este efecto, las trayectorias se diseñarán de modo que los ejes se aproximen a los puntos de medición siempre en el sentido positivo de su desplazamiento.

Por simplicidad y para facilitar la verificación de colisiones y límites, se optará por movimientos directos de la máquina. En caso de que sea necesario desplazarse en sentido negativo para alcanzar un punto de medición, se sobrepasará el punto en una distancia o ángulo suficientes, permitiendo posteriormente una aproximación en el sentido positivo que minimice el efecto del juego mecánico.

El uso de movimientos directos no supone ningún problema a la hora de recorrer los puntos de medición de los ensayos de los ejes de rotación, puesto que en el caso más complejo, ensayos de tipo ABC , todas las posiciones de A válidas permiten cualquier posición en C como se definió en el apartado 4.2. De modo que cualquier movimiento directo de un punto a otro será posible siempre y cuando el movimiento de aproximación para salvar el juego de la máquina en caso de recorrer el eje A en sentido negativo no supere inferior el paso de exploración introducido para explorar el entorno seguro.

En el caso de los ensayos de tipo XYZ , la forma del volumen seguro de medición no permite realizar movimientos directos entre cualquier par de puntos del volumen. Para solucionar este problema sin generar trayectorias complejas, se implementa una estrategia basada en un punto intermedio denominado “*punto pivote*”. Este punto, como se ilustra en la figura 4.24, se utiliza cuando un movimiento directo genera una trayectoria que sale del volumen seguro de medición.

El punto pivote se define como el punto contenido en el plano XY que se encuentra justo debajo del TSB, donde los tres brazos telescópicos tienen la misma longitud. Este punto es accesible desde cualquier lugar del volumen seguro de medición y, por lo tanto, permite alcanzar cualquier otro punto dentro del mismo volumen. Las coordenadas X e Y del punto pivote dependen del posicionamiento de la esfera sobre el plato de giro, y su coordenada Z coincide con la del punto de destino al que se desea llegar.

Dado que se ha seleccionado la posición $[50, 0]$ para la esfera, las coordenadas del punto pivote se encuentran en $[-50, 0]$ en X e Y . Este posicionamiento asegura que

cualquier movimiento dentro del volumen seguro sea posible al utilizar el punto pivote como un intermediario.

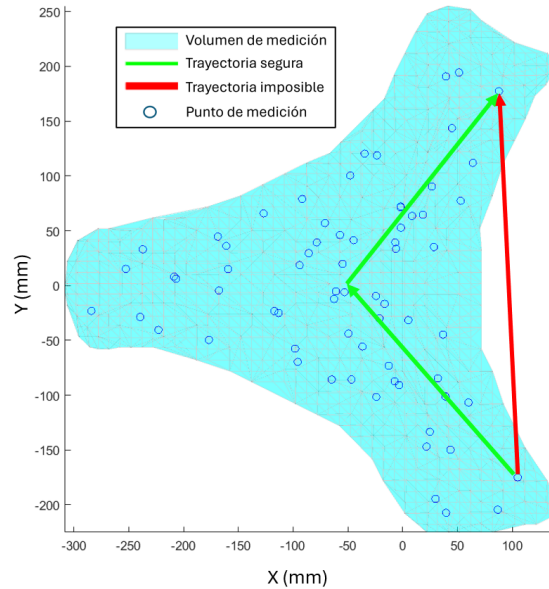


Figura 4.24: Ejemplo de trayectoria (vista en planta) que supera los límites de medición y trayectoria alternativa propuesta.

Cabe mencionar que el orden de recorrido de los puntos se determina según el orden en el que son generados por el programa. Por ejemplo, en los ensayos XYZ , si se selecciona el eje X como primario, el eje Y como secundario y el eje Z como terciario, los movimientos de la máquina seguirán una secuencia en la que primero se completan las filas correspondientes al eje X . Posteriormente, la máquina se moverá a la siguiente fila en el eje Y , y así sucesivamente hasta completar el plano XY . Una vez cubierto este plano, los movimientos continuarán en el eje Z .

En el caso de distribuciones de tipo nube, la secuencia de movimientos sigue el mismo principio, aunque los desplazamientos pueden parecer algo aleatorios visualmente. Esta estrategia no es la más eficiente, ya que se podría plantear como un problema de optimización *TSP* (*Traveling-Salesperson-Problem* [28]), adaptado para no regresar al punto de partida. En este enfoque, se buscaría minimizar la distancia total recorrida por la máquina o incluso penalizar movimientos en el sentido negativo para lograr así una mayor eficiencia. Sin embargo, esta optimización excede el alcance del presente trabajo y, por tanto, no se ha llevado a cabo.

En consecuencia, se ha optado por una estrategia simple, basada en el orden de

generación de los puntos dentro del programa, aunque no sea la opción más eficiente. A pesar de esta limitación, dado que los ensayos se realizan en un único ciclo, el impacto en el tiempo total necesario para completar la verificación de la máquina no es tan significativo como podría serlo en ensayos en los que haya que repetir el ciclo de medición varias veces.

4.2.5. Generación de archivos G-code

Sabiendo que los movimientos de la máquina durante los diferentes ensayos se realizan de forma segura, ahora es necesario trasladar esos movimientos simulados en el programa de cálculo a un lenguaje que pueda ser interpretado por la máquina.

El *G-code* es el lenguaje de programación estándar utilizado para comunicar instrucciones a máquinas CNC. Con estas instrucciones se le indica a la máquina cómo debe moverse y qué operaciones realizar. Aunque este lenguaje sea un estándar ampliamente adoptado, los fabricantes de máquinas, en muchos casos, agregan funciones específicas que permiten sacar el máximo rendimiento a las capacidades de sus equipos. Por ello, es necesario consultar la información proporcionada por el fabricante, en este caso disponible en la página oficial de HAAS [23].

En los casos planteados, los movimientos son directos y, por tanto, lo único que será necesario es fijar la velocidad de avance y el tiempo de parada en cada punto para poder realizar la medición. Para realizar los movimientos directos, será necesario utilizar la orden **G01** con las coordenadas de destino. Esta orden requiere que se indique la velocidad de avance mediante el comando **F**, acompañado del valor correspondiente en *mm/min*. Además, para realizar una parada de varios segundos que permita al TSB estabilizar la medición y capturar el punto de forma precisa, se debe emplear la orden **G04**. Según el fabricante, es necesario añadir un “.” o un “.0” justo después del valor del tiempo indicado para que este sea interpretado en segundos. Si dicho punto decimal no se incluye, la máquina lo considerará como milisegundos, ejecutando rápidamente el siguiente comando **G01**.

El listado A.1 es un ejemplo de la estructura que siguen los archivos G-code generados para que la máquina pueda llevar a cabo los movimientos pertinentes durante la captura de datos. En el ejemplo se ha establecido una velocidad de avance de 1000 mm/min y un tiempo de parada de 10 segundos para poder capturar cada punto. Cada vez que se encadenan dos **G01** seguidos, el primero se trata de un punto

de aproximación para que la máquina pueda moverse en sentido positivo con todos los ejes, evitando el juego de la máquina, y el siguiente es el punto de medición.

Cabe destacar que antes de ejecutar estos archivos en la máquina, será necesario ejecutar otro código o introducir los comandos necesarios para establecer el origen de coordenadas en la posición que se ha establecido en el modelo digital. En caso de no ser posible, habría que introducir los *offsets* correspondientes a los puntos antes de generar los archivos G-code. En el caso del ejemplo, se asume que el sistema de coordenadas 1 de la MH tiene su origen en el origen idéntico al del modelo digital.

Listado 4.1: Ejemplo de G-code para ensayo tipo XYZ

```
%  
; Ejecutar "g_code_inicializacion.nc" para establecer SC1  
; Este G-code no se ha probado en maquina  
N1 G54 (Seleccionar sistema de coordenadas 1) ;  
N2 G01 X-72.338 Y28.870 Z466.617 A0.000 B0.000 F1000 ;  
N3 G01 X-71.338 Y29.870 Z467.617 A0.000 B0.000 F1000 ;  
N4 G04 P10.0 ;  
N5 G01 X-25.288 Y56.732 Z468.866 A0.000 B0.000 F1000 ;  
N6 G04 P10.0 ;  
  
...  
  
N90 G01 X29.253 Y160.186 Z496.089 A0.000 B0.000 F1000 ;  
N91 G01 X30.253 Y160.186 Z497.089 A0.000 B0.000 F1000 ;  
N92 G04 P10.0 ;  
N93 M30 (Fin del programa) ;  
%
```

El resto de los archivos se componen de la misma forma independientemente del tipo de ensayo. Lo único que cambia son las coordenadas de movimiento. En el caso de los ejes de rotación, es importante tener en cuenta que el eje *C* definido en el modelo digital se corresponde con el eje *B* de la máquina. Aunque el nombre cambie, el significado físico es el mismo.

Cabe destacar que en este tipo de archivos no es necesario introducir las coordenadas completas de todos los ejes $[X Y Z A B]$, sino que basta con especificar las coordenadas de movimiento relevantes para los ensayos. Además, según las indicaciones del fabricante, no es necesario poner la instrucción *F* en todas las líneas de código. Con introducirla en el primer comando *G01* es suficiente, ya que los movimientos siguientes tomarán como referencia la última *F* establecida, a menos que se introduzca otra *F* con un valor diferente en alguna línea posterior, en cuyo caso se

cambiará la velocidad de avance para los siguientes comandos G01.

4.3. Identificación y compensación de errores

La identificación y compensación de los EG debe realizarse mediante algoritmos de optimización no lineales que permitan obtener resultados de manera rápida y precisa. De esta forma, es posible llevar a cabo la verificación de la máquina pocos minutos después de haber completado el proceso de captura de datos inicial.

Existen, sin embargo, diferentes estrategias para la identificación de los EG. Una de ellas consiste en identificar funciones de error que actúen como PDGE, pero que incluyan implícitamente los PIGE de la máquina. Esto es posible debido a que muchos de estos errores pueden superponerse y compensarse mutuamente, aunque sus fundamentos físicos no sean los mismos. No obstante, también resulta interesante caracterizar los PIGE de manera individual, ya que estos no varían con el posicionamiento de la máquina. Por tanto, si se logran identificar correctamente, se podrían reducir significativamente las desviaciones de la máquina de manera sencilla y utilizar para calcular de forma más precisa los PDGE.

En este trabajo se plantea un método para la identificación de los PDGE y dos estrategias diferentes para el cálculo de los PIGE. Con ello, una vez caracterizados los EG, se implementará una estrategia de compensación cuyo objetivo será reducir las desviaciones de la máquina y verificar que los EG han sido identificados de manera adecuada.

4.3.1. Identificación de PDGE

Para diseñar una herramienta eficiente que permita identificar los PDGE de la máquina, se han generado previamente unas funciones de error sintéticas que simulan los PDGE esperados en la máquina durante los ensayos físicos, ya que no se tienen unas funciones de error previas sobre la máquina a estudiar.

La forma de estas funciones de error varía según el tipo de eje. Para los ejes de traslación (X , Y , Z), las funciones se caracterizan mediante polinomios de segundo grado con término independiente nulo, ya que se toma como referencia el origen del sistema de coordenadas de la máquina (SCO). En cambio, para los ejes de rotación

(A, C) , las funciones se caracterizan mediante series de Fourier con cuatro términos: dos asociados a las funciones seno y dos a las funciones coseno. En ambos casos, el origen del SCO se toma como referencia, y se asume que el error en dicho punto es nulo.

Los coeficientes de estas funciones de error se generaron de forma aleatoria siguiendo una distribución normal con media cero y una varianza controlada. La varianza ha sido ajustada para cada tipo de coeficiente con el objetivo de obtener magnitudes de error similares a las esperadas en una máquina de estas características. De este modo, durante el proceso de identificación de los PDGE, lo que se busca es estimar precisamente los coeficientes que conforman estas funciones de error.

El algoritmo utilizado para identificar los coeficientes mencionados es el algoritmo de Levenberg–Marquardt (LM) [29], que ofrece una solución rápida, robusta y precisa para problemas cuya solución depende de un modelo no lineal. Este algoritmo combina los métodos del descenso por gradiente y el método de Gauss-Newton, siendo el factor de amortiguación (λ), que se modifica en función de los resultados obtenidos en las iteraciones, el encargado de dar prioridad a un comportamiento más similar al de descenso por gradiente o al de Gauss-Newton. Para una mayor eficiencia, la salida de la función objetivo ha de ser un vector de residuos; de este modo, el algoritmo tratará de minimizar la suma de los cuadrados de sus términos, penalizando especialmente los valores grandes dentro del vector de residuos. Esto permite un ajuste más preciso y rápido en comparación con otros métodos, como por ejemplo la minimización del error volumétrico, que es el objetivo final, pero no es eficiente si se establece como residuo de la función objetivo.

La función objetivo toma como entrada los puntos nominales utilizados durante la captura de datos y, empleando el modelo cinemático de la máquina, introduce los coeficientes de las funciones que simulan los PDGE a identificar. En caso de que ya se hayan identificado previamente los PIGE, estos coeficientes también se incluyen como valores de entrada que permanecen fijos durante el cálculo. A partir de esto, la función objetivo simula las mediciones realizadas por el TSB, generando n puntos en coordenadas X, Y, Z . Estos puntos simulados se comparan con los obtenidos durante la captura real, y la diferencia entre ellos se utiliza para construir un vector de residuos v_{err} , que contiene las normas entre los pares de puntos. El algoritmo LM busca minimizar la suma de los cuadrados de las componentes de este vector de residuos.

Tras cada iteración, el algoritmo verifica si se cumplen los criterios de convergencia.

Si se cumplen, el proceso termina y el algoritmo devuelve la mejor solución encontrada. En caso contrario, continúa iterando, ajustando los coeficientes de los PDGE hasta que se cumpla algún criterio de convergencia. En la figura 4.25 se presenta un esquema del procedimiento utilizado para la identificación de los PDGE mediante el algoritmo LM.

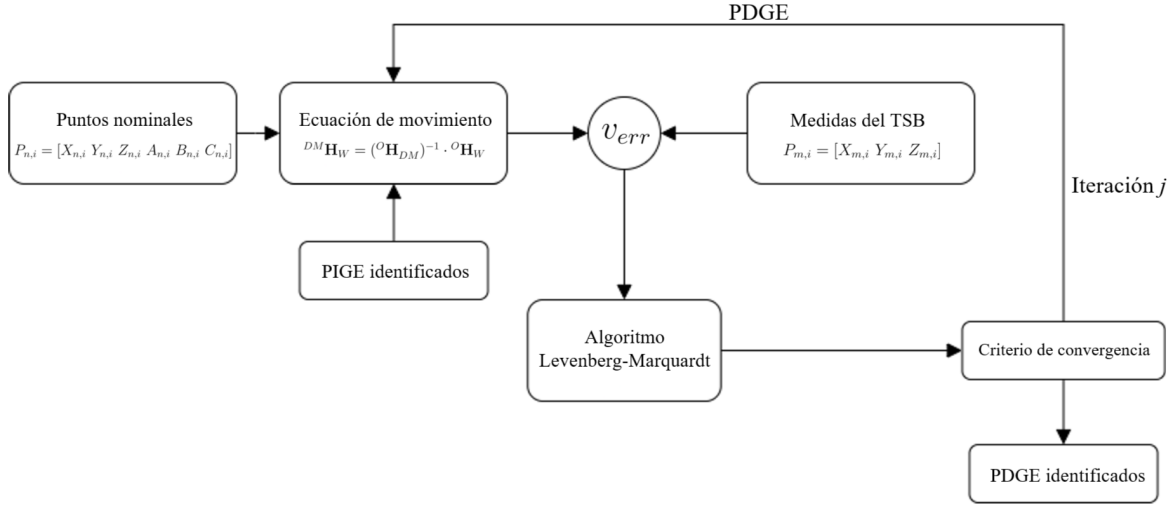


Figura 4.25: Esquema del procedimiento de identificación de los PDGE mediante LM.

4.3.2. Identificación de PIGE

El motivo de separar los PDGE con respecto a los PIGE durante la identificación de errores radica en que algunas funciones de los PDGE pueden superponerse o compensarse parcialmente con ciertos PIGE. Esto genera dificultades al evaluar el error observado en un punto específico. Por ejemplo, un aumento en el coeficiente de primer orden asociado a δ_{xy} o δ_{yx} (suponiendo un coeficiente con valor positivo), que tiende a cerrar el ángulo entre los ejes XY , podría compensarse con un incremento en la magnitud del error de perpendicularidad S_{xy} , el cual, si es positivo, tiende a abrir dicho ángulo.

Para manejar estas interacciones, se han adoptado dos estrategias. La primera consiste en identificar los PIGE de manera similar a los PDGE, utilizando el algoritmo LM. La segunda es un método alternativo, que busca aproximar los PIGE de forma más física. En esta estrategia, se realiza primero una preidentificación de los PDGE con el algoritmo LM, para posteriormente calcular los PIGE basándose en estos resultados.

- **Identificación con LM**

Este método es equivalente al empleado para el cálculo de los PDGE mediante el algoritmo LM. En este caso, el número de coeficientes es menor, ya que solo se consideran 11 PIGE, lo que equivale a 11 términos con los que el algoritmo debe operar. Por el contrario, en el caso de los PDGE, el cálculo es computacionalmente más costoso, dado que implica manejar 36 términos ($2 \cdot 18PDGE^{trasl}$) para los ensayos de tipo *XYZ*, los cuales solo identifican errores de los ejes lineales, y 48 términos ($4 \cdot 12PDGE^{rot}$) para los ensayos que combinan movimientos de los ejes *A* y *C*.

Para el cálculo de los PIGE utilizando LM, se asumirán PDGE nulos. Aunque esta aproximación podría provocar que los valores calculados de los PIGE estén contaminados por los PDGE de la máquina, permite evitar el solapamiento entre errores y simplifica el proceso de identificación.

La figura 4.26 muestra el esquema de funcionamiento del proceso de identificación de los PIGE mediante el algoritmo LM.

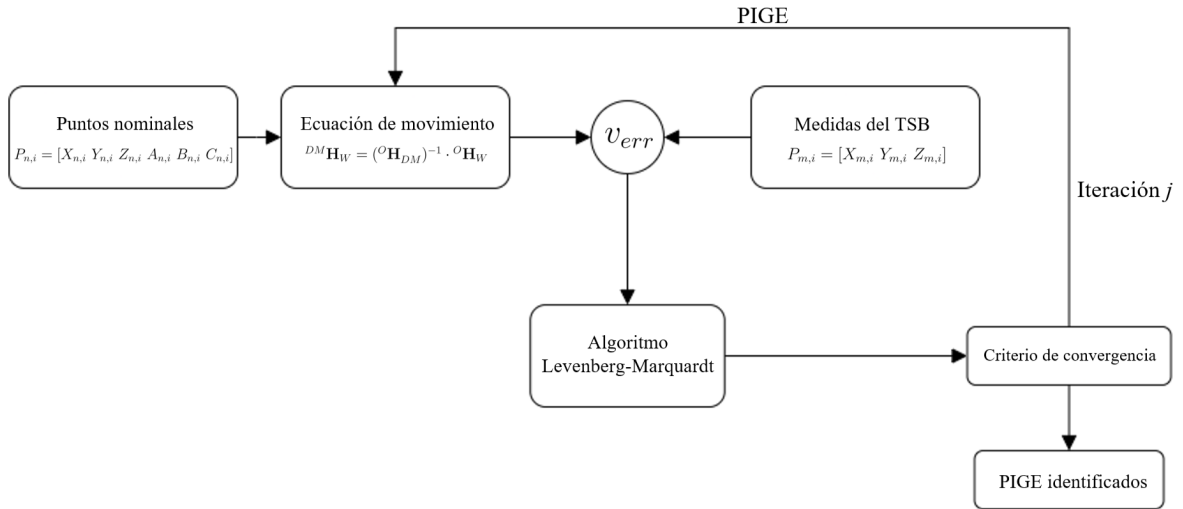


Figura 4.26: Esquema del procedimiento de identificación de los PIGE mediante LM.

- **Identificación con método alternativo**

Se ha propuesto un método alternativo que pretende aprovecharse de que el propio algoritmo de LM al identificar únicamente los PDGE tomando los PIGE como nulos consigue unas funciones PDGE que contienen los propios PIGE. Por lo tanto, para poder llevar a cabo este cálculo primero es necesario ejecutar LM con la identificación de los PDGE como marca la figura 4.25 para cada ensayo realizado. Después, con las funciones de error identificadas, los errores de perpendicularidad se calculan de la siguiente forma:

$$S_{xy} = - \left(\text{atan} \left(\frac{\delta_{xy}(y^{\max}) - \delta_{xy}(y^{\min})}{y^{\max} - y^{\min}} \right) + \text{atan} \left(\frac{\delta_{yx}(x^{\max}) - \delta_{yx}(x^{\min})}{x^{\max} - x^{\min}} \right) \right) \quad (4.45)$$

$$S_{xz} = - \left(\text{atan} \left(\frac{\delta_{xz}(z^{\max}) - \delta_{xz}(z^{\min})}{z^{\max} - z^{\min}} \right) + \text{atan} \left(\frac{\delta_{zx}(x^{\max}) - \delta_{zx}(x^{\min})}{x^{\max} - x^{\min}} \right) \right) \quad (4.46)$$

$$S_{yz} = - \left(\text{atan} \left(\frac{\delta_{yz}(z^{\max}) - \delta_{yz}(z^{\min})}{z^{\max} - z^{\min}} \right) + \text{atan} \left(\frac{\delta_{zy}(y^{\max}) - \delta_{zy}(y^{\min})}{y^{\max} - y^{\min}} \right) \right) \quad (4.47)$$

Donde:

- δ_{xy} , δ_{yx} , δ_{xz} , δ_{zx} , δ_{yz} , y δ_{zy} son las funciones de error de los PDGE en los ejes correspondientes.
- $x^{\max}$, $x^{\min}$, $y^{\max}$, $y^{\min}$, $z^{\max}$, y $z^{\min}$ representan las mayores y menores coordenadas, respectivamente, en x , y y z , evaluadas en los puntos del ensayo.

El cálculo de los PIGE asociados a los ejes de rotación es más complejo que para los ejes lineales. Aunque no se detalla la matemática específica de cada error, el concepto principal consiste en utilizar los resultados de los ensayos de tipo A y C para determinar las coordenadas de la esfera en el SCO. Esto se logra mediante la matriz de transformación homogénea ${}^O\mathbf{H}_W$ asociada a cada punto de cada ensayo, considerando su vector de traslación $\mathbf{t}$.

Para los ensayos de tipo A , mediante un ajuste por mínimos cuadrados, se obtiene la ecuación del plano $Ax + By + Cz + D = 0$, que contiene dichos puntos. Posteriormente, se proyecta la posición de cada punto sobre el plano obtenido y, por mínimos cuadrados, se calcula el centro de la circunferencia que describen. Con este punto y utilizando la normal del plano (definida por los coeficientes A , B , y C de su ecuación), se determina el eje de giro A . Este eje se intersecta con el plano YZ del SCX para calcular los errores de centrado. Los errores de paralelismo se obtienen a partir de la orientación de la normal del plano calculado respecto al eje X del SCX.

Para los ensayos de tipo C , el procedimiento es análogo, aunque físicamente los puntos capturados con ambos soportes no se encuentran en un único plano. Por ello, se calculan dos planos por mínimos cuadrados y, a partir de ellos, se obtiene un plano promedio. El resto del proceso es similar al del eje A , salvo que los PIGE se calculan en función del SCB.

4.3.3. Compensación de errores

La compensación de los EG identificados no se realiza de la misma manera que el proceso de identificación. Mientras que en el proceso de identificación se introducían puntos nominales en coordenadas MH junto con sus mediciones correspondientes tomadas con el TSB, y el algoritmo buscaba las funciones de error que minimizasen la diferencia entre estos puntos al pasarlos al SCDM (sistema de coordenadas del dispositivo de medición), en la compensación se introducirá un punto con las coordenadas nominales de la MH, la medición nominal del TSB que debería de capturar y las funciones de error identificadas. Con esta información, el algoritmo tratará de modificar las coordenadas nominales introducidas en la máquina para obtener un resultado lo más cercano posible a la medición nominal que debería medir el TSB.

Sin embargo, no solo es importante que la medida tomada se aproxime a la nominal, sino también lo ha de ser la orientación de la esfera. Por lo tanto, de la ${}^{DM}\mathbf{H}_W$ obtenida, no solo es necesario que la diferencia entre el vector de traslación $\mathbf{t}$ teórico y el compensado sea mínima, sino también que la matriz de rotación $\mathbf{R}$ de dicha HTM sea lo más cercana posible a su valor nominal.

Para resolver este problema, se ha utilizado el algoritmo Quasi-Newton (QN) proporcionado por la *Optimization Toolbox* de MATLAB, el cual utiliza el método quasi-Newton BFGS con un procedimiento de búsqueda de recta cúbica [26]. Este algoritmo es altamente eficiente y robusto para la optimización de problemas no lineales sin restricciones. A diferencia del algoritmo Levenberg-Marquardt (LM), que es muy eficiente en problemas de mínimos cuadrados no lineales con un residual vectorial, el algoritmo Quasi-Newton en este caso tomará como salida de la función objetivo el error entre la medida tras modificar la coordenada del punto para compensar los EG y la medida que debería tomar de forma nominal.

La salida de la función objetivo depende de dos componentes: el error en la matriz de rotación $\mathbf{R}$ entre la medida estimada con el punto compensado y la medida nominal del punto sin compensar, y la diferencia con el vector $\mathbf{t}$ entre ambos puntos. Para obtener estos resultados, se sigue el siguiente procedimiento:

$$\mathbf{H}_{err} = ({}^{DM}\mathbf{H}_W^{comp})^{-1} \cdot {}^{DM}\mathbf{H}_W^{nom} \quad (4.48)$$

La matriz obtenida si ${}^{DM}\mathbf{H}_W^{comp}$ y ${}^{DM}\mathbf{H}_W^{nom}$ fuesen iguales, sería la matriz identidad. Pero como no es así, el vector $\mathbf{t}$ de esta matriz indica el error de posicionamiento

mientras que la matriz $\mathbf{R}$ es la de orientación.

Para obtener un escalar que mida el ángulo relativo del error en vez de trabajar con una matriz 3×3 , se hace lo siguiente. Siendo que una matriz de rotación $\mathbf{R}$ alrededor de un eje arbitrario unitario (u_x, u_y, u_z) con un ángulo θ se expresa como:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \theta + u_x^2(1 - \cos \theta) & u_x u_y(1 - \cos \theta) - u_z \sin \theta & u_x u_z(1 - \cos \theta) + u_y \sin \theta \\ u_y u_x(1 - \cos \theta) + u_z \sin \theta & \cos \theta + u_y^2(1 - \cos \theta) & u_y u_z(1 - \cos \theta) - u_x \sin \theta \\ u_z u_x(1 - \cos \theta) - u_y \sin \theta & u_z u_y(1 - \cos \theta) + u_x \sin \theta & \cos \theta + u_z^2(1 - \cos \theta) \end{bmatrix}.$$

La traza de esta matriz es:

$$\text{tr}(\mathbf{R}) = \cos \theta + u_x^2(1 - \cos \theta) + \cos \theta + u_y^2(1 - \cos \theta) + \cos \theta + u_z^2(1 - \cos \theta).$$

Dado que el eje de rotación es unitario ($u_x^2 + u_y^2 + u_z^2 = 1$), se simplifica a:

$$\text{tr}(\mathbf{R}) = 3 \cos \theta + (1 - \cos \theta) = 1 + 2 \cos \theta.$$

Como se quiere obtener el valor de θ para poder utilizarlo como escalar en el residual, la ecuación queda como:

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\text{tr}(\mathbf{R}) - 1}{2} \right) \quad (4.49)$$

Con esta ecuación se obtiene la desviación en la orientación en radianes, este valor sumado de forma ponderada con la norma del error de posición, obtiene el error residual de la función objetivo utilizada en la compensación de errores. Aunque no se hace énfasis de la matemática, la figura 4.27 trata de mostrar de forma esquemática el procedimiento de compensación para cada punto.

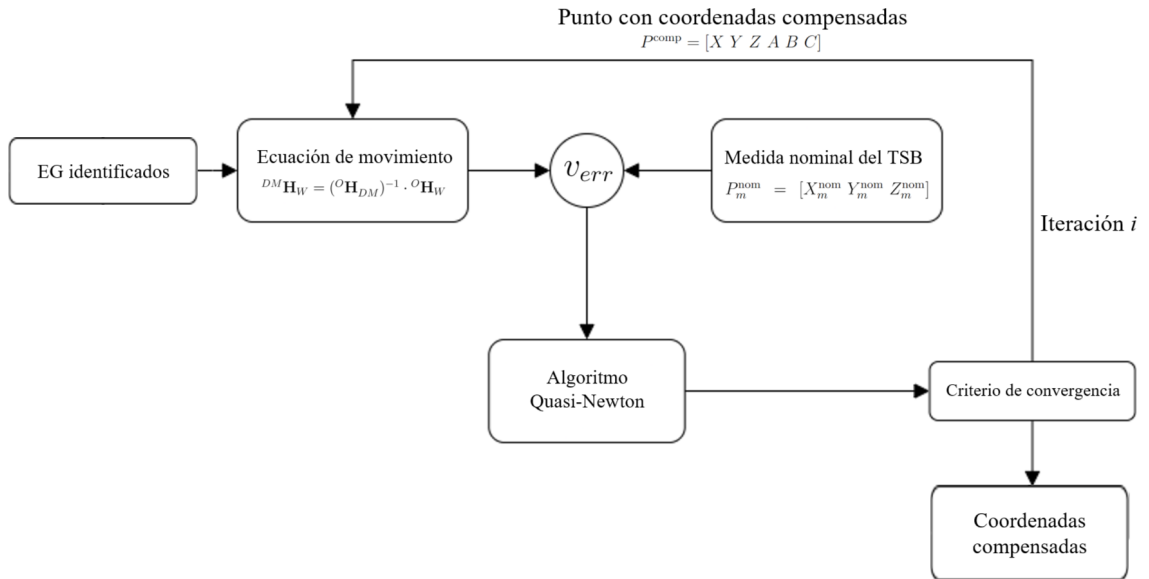


Figura 4.27: Esquema del procedimiento de compensación de EG mediante QN.

4.4. Explicación del programa

Tras conocer toda la metodología que sigue el programa en MATLAB para realizar la parte de cálculo de la verificación de la MH, en la figura 4.28 se muestra el flujograma que sigue el *main* del programa.

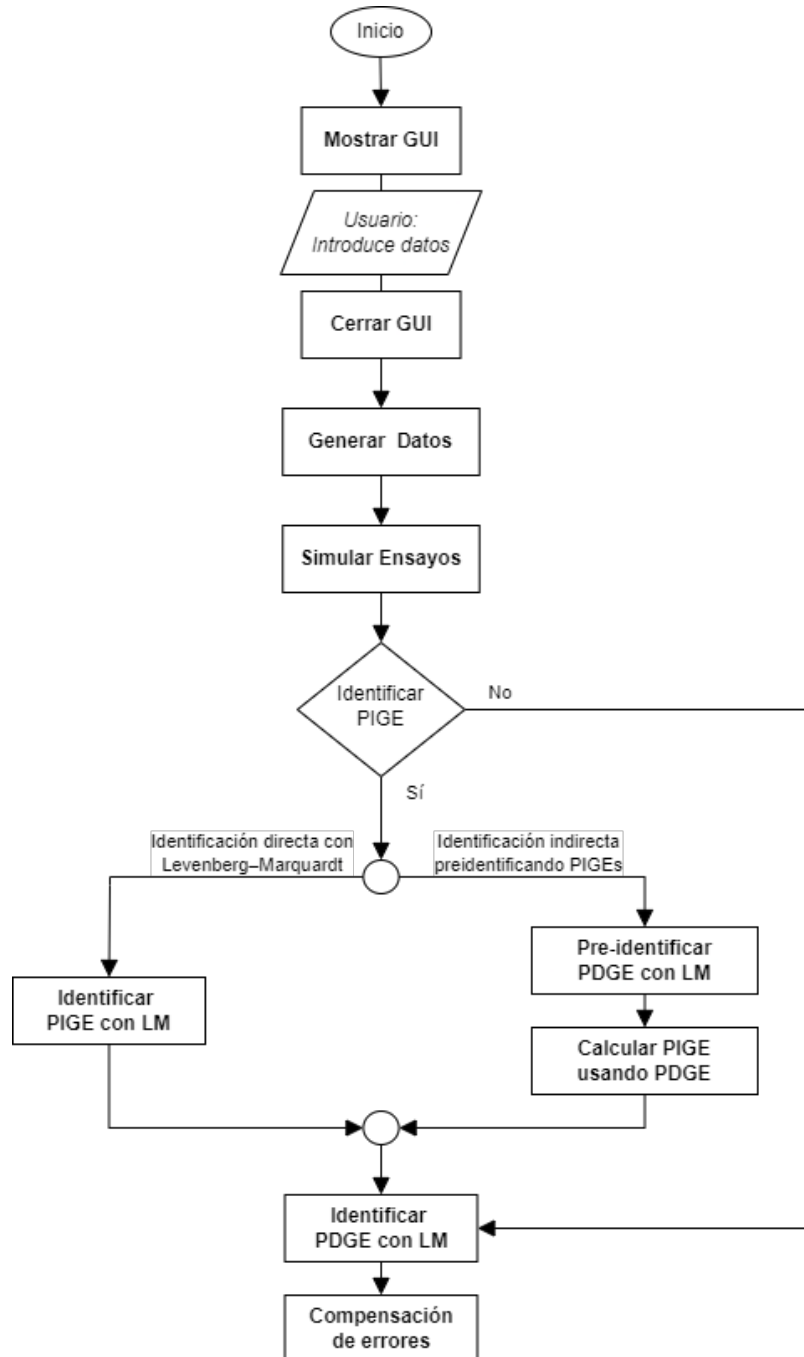


Figura 4.28: Diagrama de flujo que sigue el programa en MATLAB.

El programa se divide en varias partes:

- **Introducción de datos**

El usuario introduce los datos necesarios para que el programa pueda funcionar. Entre ellos se encuentran los límites de la máquina, tipo de distribución de puntos de medición, características del mallado de exploración, etc. En el apartado 4.5 se detalla más información al respecto con cómo manejar la interfaz de usuario.

Entradas:

- Sistemas de coordenadas XYZABC.png

Salidas:

- *handles*
- `handles.mat`

Donde *handles* es una estructura que contiene todos los parámetros introducidos por el usuario.

- **Generar Datos**

Esta función es la encargada de explorar el espacio de colisiones y límites de medición para generar los puntos de medición correspondientes asociados a los 8 ensayos diferentes que se han de realizar. A su vez, genera las trayectorias de cada ensayo y los archivos G-code para realizar la captura de datos en máquina.

Entradas:

- *handles*

Salidas:

- `GeneracionEnsayos_resumen.txt`
- `<nombre_general>_<distribución>_<tipo_ensayo>_<pos_esfera>.txt`
- `<nombre_general>_movimientos_<tipo_ensayo>_<pos_esfera>.txt`
- `<nombre_general>_gcode_<tipo_ensayo>_<pos_esfera>.nc`
- `frontera_XYZ_<pos_esfera>.mat`

Donde `<nombre_general>` es el nombre introducido por el usuario a los ensayos, `<distribución>` puede ser `mall` o `nube`, y `<pos_esfera>` puede ser 1 o 2 en función de la posición de la altura de la esfera sobre el plato.

- **Simular Ensayos**

Para simular los ensayos es necesario introducir los coeficientes requeridos para la construcción de los EG. Con ello y las coordenadas nominales de los puntos de medición para los 8 ensayos diferentes se simula el proceso de captura de datos con el TSB. Si se trata de un ensayo real en máquina, esta función no es necesaria y deberá ser sustituida por las mediciones tomadas por el TSB.

Entradas:

- *handles*
- Grupo_polinomio_XYZ.txt
- Grupo_polinomio_XYZ_nulos.txt
- Grupo_coefsFourier_ABC.txt
- Grupo_coefsFourier_ABC_nulos.txt

Salidas:

- <nombre_general>_ensayo_<tipo_ensayo>_<pos_esfera>.txt
- <nombre_general>_ensayo_<tipo_ensayo>_<pos_esfera>_limpio.txt

- **Identificar PIGE con LM**

Esta opción solo se da si la selecciona el usuario. Calcula los PIGE utilizando el algoritmo LM.

Entradas:

- *handles*
- <nombre_general>_<distribución>_<tipo_ensayo>_<pos_esfera>.txt
- <nombre_general>_ensayo_<tipo_ensayo>_<pos_esfera>.txt

Salidas:

- <nombre_general>_finales_<tipo_ensayo>_PIGEs.txt

- **Identificar PIGE con LM**

Esta opción solo se da si la selecciona el usuario. Calcula los PIGE haciendo un precálculo de los PDGE.

Entradas:

- *handles*
- <nombre_general>_<distribución>_<tipo_ensayo>_<pos_esfera>.txt

- <nombre_general>_ensayo_<tipo_ensayo>_<pos_esfera>.txt

Salidas:

- <nombre_general>_precalculo_<tipo_ensayo>.txt
- <nombre_general>_ensayo_<tipo_ensayo>_ini.txt
- <nombre_general>_ensayo_<tipo_ensayo>_PIGEs_ini.txt
- <nombre_general>_finales_<tipo_ensayo>_PIGEs.txt

• Identificar PDGE con LM

Calcula los PDGE con el algoritmo LM. Puede hacerlo tomando los PIGE previamente identificados o con PIGE nulos si son desconocidos.

Entradas:

- *handles*
- <nombre_general>_<distribución>_<tipo_ensayo>_<pos_esfera>.txt
- <nombre_general>_ensayo_<tipo_ensayo>_<pos_esfera>.txt
- <nombre_general>_finales_<tipo_ensayo>_PIGEs.txt (solo si se han calculado)

Salidas:

- <nombre_general>_finales_<tipo_ensayo>.txt
- <nombre_general>_ensayo_<tipo_ensayo>_ini.txt

• Compensación de errores

Utiliza el algoritmo QN para compensar los errores corrigiendo posición y orientación de cada punto de los ensayos. Genera el G-code para verificación en máquina.

Entradas:

- *handles*
- <nombre_general>_<distribución>_<tipo_ensayo>_<pos_esfera>.txt
- <nombre_general>_finales_<tipo_ensayo>_PIGEs.txt (solo si se han calculado)
- frontera_XYZ_<pos_esfera>.mat

Salidas:

- <nombre_general>_gcode_comp_<tipo_ensayo>.nc
- <nombre_general>_<distribución>Comp_<tipo_ensayo>_<pos_esfera>.txt

4.5. Interfaz de usuario

Para que cualquier usuario ajeno al diseño del programa pueda introducir los datos de forma sencilla, se ha diseñado una interfaz de usuario que permite, de una forma más amigable, introducir los datos que necesita el programa para ser ejecutado.

La interfaz de usuario consta de 4 pestañas: General, Máquina, Mallado y Algoritmo.

- **General**

The screenshot shows the 'General' tab of the GUI. It features a tabbed interface with four tabs: 'General', 'Máquina', 'Mallado', and 'Algoritmo'. The 'General' tab is selected. The main area contains several input fields and checkboxes:

- Nombre General:** A text input field containing 'AA_TFM'.
- Directorio General:** An empty text input field.
- Criterio Perpend:** A dropdown menu with 'Positivo con apertura' selected.
- Tiempo por punto:** A text input field containing '10.0' with the unit '(segundos o milisegundos)'.
- Velocidad de avance:** A text input field containing '1000' with the unit 'mm/min'.
- Distancia de aproximación en ensayos de traslación:** A text input field containing '1' with the unit 'mm'.
- Distancia de aproximación en ensayos de rotación:** A text input field containing '1' with the unit '°'.
- Resolución máxima de los ejes:**
 - Ejes de traslación:** A text input field containing '3' with the unit 'decimales'.
 - Ejes de rotación:** A text input field containing '3' with the unit 'decimales'.
- ☐ Ruido de medición
- ☒ Contraplato
- Diámetro:** A text input field containing '230' with the unit 'mm'.
- Altura:** A text input field containing '16.55' with the unit 'mm'.

On the right side of the interface, there are four buttons: 'Cargar Preferencias', 'Guardar Preferencias', 'Cerrar', and 'Calcular'.

Figura 4.29: Pestaña *General* de la GUI.

- **Nombre general:** Nombre que contendrán como prefijo los archivos generados.
- **Directorio general:** Directorio en el que se leerán y generarán los archivos.
- **Criterio perpendicularidad:** Elegir entre criterio donde el signo de los errores de perpendicularidad es positivo al abrir los ejes, o la opción que indica la norma [12] donde el signo se aplica siguiendo la regla de la mano derecha.

- **Tiempo por punto:** Tiempo de parada de la máquina para medir cada punto del ensayo.
- **Velocidad de avance:** Velocidad de la máquina durante los ensayos.
- **Distancia de aproximación:** Distancia mínima que ha de recorrer un eje en sentido positivo para medir el punto, de esta forma se evita el juego de la máquina cuando el movimiento de algún eje es en sentido negativo.
- **Resolución máxima de los ejes:** Número máximo de decimales que permiten los ejes (traslación en mm y rotación en $^{\circ}$). Es importante para la compensación de errores.
- **Ruido de medición:** Ruido de medición del TSB durante la simulación de ensayos.
- **Contraplato:** Placa que se encuentra sobre el plato giratorio del *trunnion*. Si se activa esta opción, el sistema de coordenadas de C se desplaza la altura indicada para situarse sobre la superficie del contraplato.

• Máquina

General

Máquina

Mallado

Algoritmo

Tipo de Máquina Herramienta:

HAAS VF3 TRT160

Recorrido de los ejes:

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	A (°)	B (°)	C (°)
Inicio	-400	-220	300	-120	0	-180
Final	200	250	500	120	0	180

Decalaje de la esfera sobre el centro del plato:

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Ensayo de traslación con soporte	50	0	80
Ensayo de traslación sin soporte	50	0	60
Ensayos de rotación con soporte	50	0	80
Ensayos de rotación sin soporte	50	0	60

Posición del Dispositivo de Medición (HPTI):

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	A (°)	B (°)	C (°)
1	0	0	-65	180	0	90

Offsets de los ejes YXABC (mov. pieza):

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	A (°)	B (°)	C (°)
Eje Y _{máq} (SR O)	0	0	0	0	0	0
Eje X _{máq} (SR Y)	0	0	0	0	0	0
Eje A _{máq} (SR X)	0	0	0	0	0	90
Eje B _{máq} (SR A)	0	0	0	-90	0	0
Eje C _{máq} (SR B)	3	0	0	90	0	-90

Offsets del eje Z (mov. herramienta):

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	A (°)	B (°)	C (°)
Eje Z _{máq} (SR O)	0	0	0	0	0	0

Cargar Preferencias

Guardar Preferencias

Cerrar

Calcular

Figura 4.30: Pestaña *Máquina* de la GUI.

- **Recorrido de los ejes:** Indicar límites máximos y mínimos de los ejes de movimiento de la máquina.
- **Decalaje de la esfera:** Posicionamiento de la esfera en los ensayos de traslación (2 posiciones) y en los ensayos de rotación (2 posiciones) con respecto al centro del plato/contraplato y su superficie.
- **Posicionamiento del TSB:** Decalaje del TSB con respecto al eje Z. Modificar solo la cota en Z si se considera necesario.
- **Offset de los ejes:** *Offset* de los ejes para que estos queden con la configuración de la imagen mostrada en la interfaz. Los 3 mm de decalaje en C vienen del plano del fabricante dado que el plato se encuentra 3 mm por debajo del eje de giro A. Tener en cuenta que los *offset* se miden desde el sistema de coordenadas sobre el que va montado el sistema de coordenadas a orientar.

• Mallado

General

Máquina

Mallado

Algoritmo

Tipo: Nube

Eje Principal XYZ: X Eje Secundario XYZ: Y

Eje Principal ABC: C Eje Secundario ABC: A

Paso de medición:

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	A (°)	B (°)	C (°)
Ensayo XYZ	50	50	20	0	0	0
Ensayo ABC	0	0	0	20	0	45
Ensayo A	0	0	0	5	0	0
Ensayo C	0	0	0	0	0	10

Malla de exploración en ensayos de traslación:

Paso inicial: 40 mm Paso límite: 10 mm

☒ Margen de seguridad 3 mm

Paso de exploración en los ejes de rotación:

Paso eje A: 2 ° Paso eje C: 2 °

Coordenadas fijas de los ejes XYZ en los ensayos de rotación:

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	0	0	500

Selección de coordenadas [X Y] del punto pivote en ensayos de traslación: Automático

Cargar Preferencias

Guardar Preferencias

Cerrar

Calcular

Figura 4.31: Pestaña *Mallado* de la GUI.

- **Tipo de mallado de medición:** Seleccionar distribución tipo malla (estructurada) o nube (aleatoria).
- **Preferencia de los ejes:** Seleccionar el orden en el que se van a generar los puntos de medición y por tanto orden en el que se recorrerán los puntos durante el ensayo.
- **Paso de medición:** Distancia entre los puntos de medición en función del tipo de ensayo. Se aplica de forma estricta en distribución tipo malla, se ha de tener en cuenta que la distribución tipo nube es una distribución tipo malla en la que se aplica un desplazamiento aleatorio que no superará la mitad del paso de medición en cualquiera de los dos sentidos.
- **Mallado de exploración en ensayos XYZ:** El mallado de exploración en los ensayos XYZ es adaptativo, se reduce a la mitad cada vez que se acerca a un límite de medición o colisión. Se reduce a la mitad de forma iterativa

hasta llegar al paso límite. Con 40 de inicial y 10 de límite es suficiente.

- **Margen de seguridad:** Se trata del *offset* de la superficie frontera. Indica cómo de lejos se puede encontrar un punto si este se sitúa justo en la superficie que delimita el volumen seguro de medición. Con 3 mm puede que la superficie con *offset* no quede contenida completamente dentro de la superficie externa, con 5 mm es suficiente si se han tomado paso inicial de 40 y límite de 10.
- **Paso de exploración en los ensayos de rotación:** Paso de la malla de exploración en los ensayos en los que se mueven los ejes de rotación. El paso es constante.
- **Coordenadas fijas de XYZ en ensayos de rotación:** Coordenadas en las que se quedarán fijados los ejes XYZ durante los ensayos de rotación. Lo suyo es que el TSB esté en la zona más alta posible para poder así conseguir verificar un mayor volumen de la máquina.
- **Coordenadas del punto pivote:** Punto que utilizará la máquina durante los ensayos XYZ para pivotar en caso de que no tenga movimiento directo al punto de destino. Se selecciona automáticamente. En caso de querer introducirlo manual, puede hacerlo, pero no es recomendable, salvo que sepa que se mueve a un punto seguro.

• Algoritmo

General Máquina Mallado **Algoritmo**

Número de fases: Identificación en dos fases 1º posicionamiento y 2º orientación

Opciones de parada del algoritmo:

Variación mínima: 1e-100

Variación máxima: 1e-100

Límite de operaciones: 1e+100

Límite de iteraciones: 100 iter.

Long. mín. de ventana: 5 iter.

Long. máx. de ventana: 0.04 (tpu)

Porcentaje de mejora: 0.01 (tpu)

☒ Calcular PIGes Mediante Levenberg-Marquardt

Grado de los polinomios de error: 2

Nº de coeficientes de Fourier: 2

Cargar Preferencias

Guardar Preferencias

Cerrar

Calcular

Figura 4.32: Pestaña *Algoritmo* de la GUI.

- **Número de fases:** Permite calcular los PDGE de traslación y de rotación por separado para evitar problemas de escala al trabajar con coeficientes en milímetros y radianes. Seleccionar una o dos fases, en caso de optar por dos fases ha de seleccionar si desea identificar primero los PDGE de traslación o los de rotación.
- **Variación mínima:** Variación mínima de los coeficientes entre iteraciones que indica que el algoritmo ha convergido. Al desconocer el valor de los coeficientes en máquina, se ha dejado con un valor ridículamente pequeño.
- **Variación máxima:** Variación de convergencia del residual de la función objetivo. Al igual que la anterior, se ha dejado con valor pequeño para que no converja en los primeros mínimos locales que encuentre el algoritmo.
- **Límite de operaciones:** Número límite de llamamientos a la función objetivo. Se ha dejado como un valor muy alto para que el criterio de convergencia sean las iteraciones y no los llamamientos a la f_o . En cada iteración se llama a la f_o un número de veces igual al número de coeficientes con los que puede jugar el algoritmo.
- **Límite de iteraciones:** Número máximo de iteraciones permitidas.
- **Long. min de ventana:** Se trata de un criterio de convergencia ajeno a los que contiene el algoritmo, ha sido diseñado específicamente para este trabajo. Marca el número mínimo de iteraciones que han de realizarse antes de que se inicie el criterio de convergencia ajeno al algoritmo. Si no se quiere utilizar, se ha de poner un número mayor al número de iteraciones máximo.
- **Long. máxima de ventana:** Funciona con el criterio de convergencia ajeno al algoritmo. Indica qué porcentaje de iteraciones se van a evaluar. Coge el residual de la última operación y lo compara con el del inicio de la ventana que se obtiene con el porcentaje de iteraciones indicado. Si no se quiere emplear, se pone 1.
- **Porcentaje de mejora:** Indica la proporción que ha de variar el residual entre el inicio de la ventana del criterio de convergencia ajeno al algoritmo y el residual de la última iteración. Si la variación es menor, indica que ha convergido el algoritmo puesto que se supondrá que en el porcentaje de iteraciones indicado como longitud máxima de ventana (las últimas iteraciones del algoritmo) el residual apenas ha cambiado y por tanto se tomará como que ha convergido.
- **Calcular PIGE:** Identifica los PIGE de la máquina. En caso de ser

seleccionado se ha de indicar si se desea utilizar LM o el método alternativo propuesto en este trabajo en el que se preidentifican los PDGE y posteriormente calcula los PIGE.

- **Grado de polinomios de error:** Grado máximo de las funciones polinómicas que simulan los PDGE de los ejes de traslación. (solo se ha probado con 2)
- **Número de coeficientes de Fourier:** Número máximo de coeficientes de Fourier asociados a las funciones senoidales (y cosenoidales). Un 2 indica 2 funciones seno y 2 funciones coseno. (solo se ha probado con 2)

Una vez están introducidos todos los datos requeridos por el usuario, el programa se lanza mediante el botón **Calcular**. En caso de querer guardar dichos datos para posteriores fases, se le puede dar al botón de **Guardar Preferencias** y guardará las preferencias en el archivo `preferencias_handles.mat`. De esta forma aunque se cierre el programa se le puede dar a **Cargar Preferencias** y se cargarán los datos que había guardado el usuario previamente.

5 Simulación y resultados

Para evaluar la robustez de las herramientas diseñadas se ha optado por realizar una comparativa de las diferentes estrategias de identificación planteadas. Además, se ha llevado a cabo una simulación completa en la que se indicarán todos los archivos generados y la forma de interpretarlos.

5.1. Comparativa de estrategias de identificación de errores

En este apartado se han realizado 4 grupos de simulaciones completamente idénticas en las que se variarán los coeficientes de error introducidos. Cada grupo consta de 39 simulaciones con las que se tratará de analizar el porcentaje de error identificado en cada caso. Por lo tanto, sumando el número de simulaciones llevadas a cabo entre todos los grupos, se han realizado un total de 156 simulaciones.

5.1.1. Grupo 1

Para este grupo de ensayos las funciones sintéticas de error introducidas son las mostradas en las figuras 5.1 y 5.2.

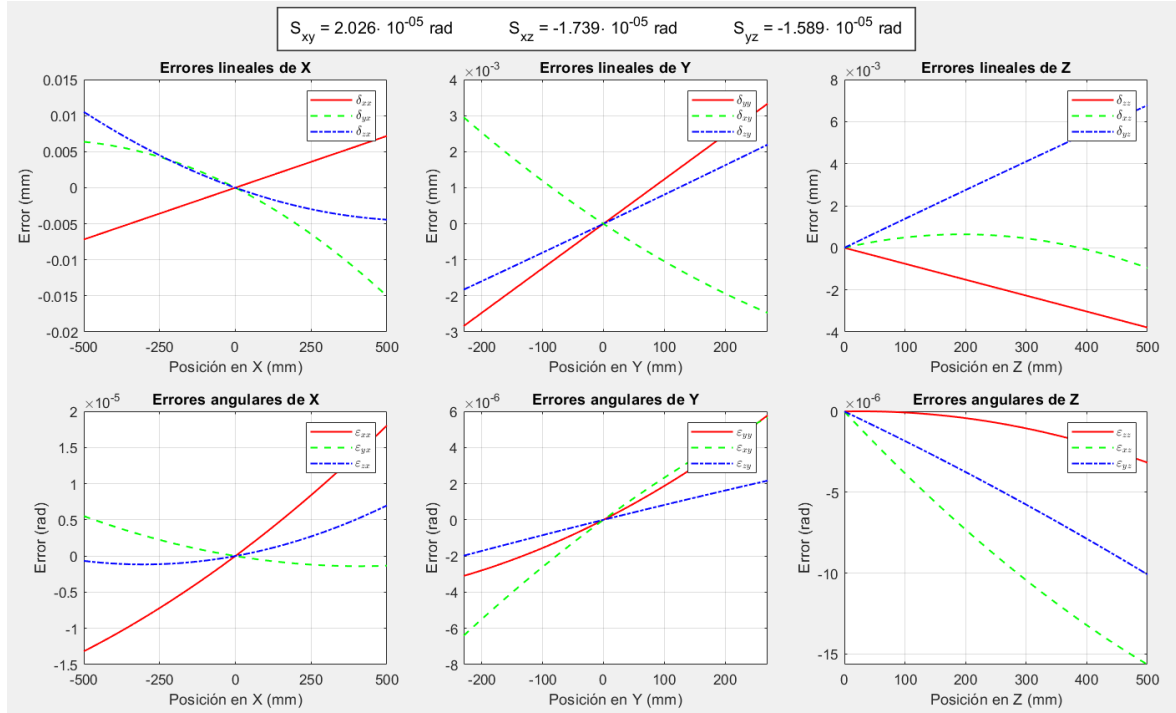


Figura 5.1: Funciones de error de los ejes X Y Z para el grupo 1 de simulaciones.

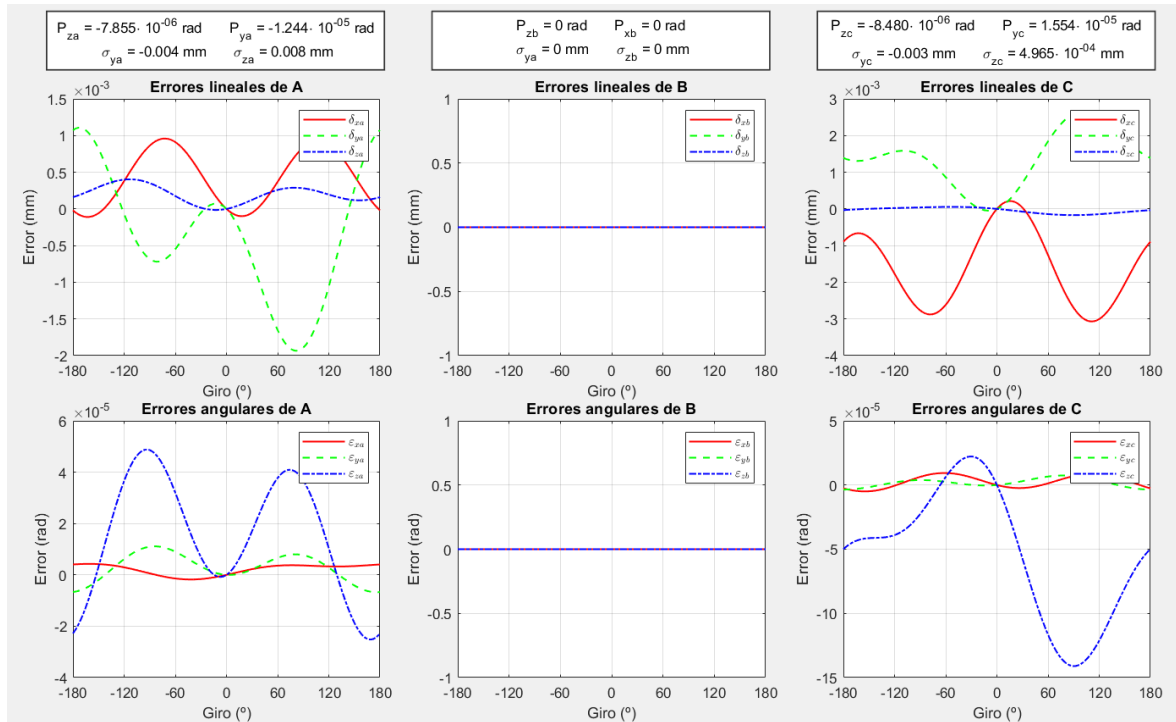


Figura 5.2: Funciones de error de los ejes A B C para el grupo 1 de simulaciones.

A la hora de realizar las simulaciones, no se han introducido directamente todas las funciones de error, sino que se ha tratado de desglosar todas las combinaciones posibles para evaluar la eficiencia del programa diseñado. La tabla 5.1 muestra los resultados de las simulaciones en las que solo se han introducido funciones PDGE, dejando las PIGE a cero.

La forma de interpretar la tabla es la siguiente:

- Las columnas están organizadas en tres grupos principales:
 - Las primeras tres columnas, correspondientes al grupo *ABC*, indican que solo se han introducido los PDGE de los ejes *A*, *B* y *C*.
 - Las siguientes tres columnas, pertenecientes al grupo *XYZ*, incluyen únicamente los errores de los ejes *X*, *Y* y *Z*.
 - Finalmente, las últimas tres columnas combinan los PDGE de los seis ejes. Cabe destacar que, como se ha indicado a lo largo del documento, los errores del eje *B* son siempre nulos.
- Cada grupo de tres columnas contiene las siguientes designaciones:
 - *1F*, que indica que la identificación se ha realizado en una única fase.
 - *2F RT*, que indica que se ha realizado en dos fases, identificando primero los errores de orientación y posteriormente los de traslación de cada eje.
 - *2F TR*, que indica que también se ha hecho en dos fases, pero identificando primero los errores de traslación y luego los de rotación.
- Las filas están organizadas en cuatro divisiones: *XYZ*, *ABC*, *A* y *C*. Estas divisiones corresponden a los cuatro tipos de ensayo diseñados y descritos en el apartado 4.2.1. En cada división se incluyen dos métricas principales:
 - *Err. Sint.*, que indica el error volumétrico sintético en milímetros introducido por las funciones de error. Este se calcula restando las coordenadas reales medidas con el TSB de las coordenadas nominales que debería medir el TSB, obteniendo la norma de dichas diferencias y promediándolas.
 - *Err. Optim.*, que indica el error volumétrico restante que no ha podido identificarse durante el proceso. Se calcula de forma similar, pero ahora la diferencia es entre las medidas reales capturadas por el TSB y las medidas estimadas que se obtendrían con las funciones de error identificadas.

El porcentaje asociado indica un 100 % si el error volumétrico se ha identificado completamente, y valores más bajos si el algoritmo no ha logrado converger hacia una solución óptima. Se calcula como $(1 - \frac{Err_{Opt}}{Err_{Sint}}) \cdot 100$.

Por último, el texto en rojo señala combinaciones que no son de interés analizar, ya que evalúan ensayos diseñados para un tipo de error sin que ese tipo de error haya sido introducido de forma sintética. Por ejemplo, no tiene sentido calcular los EG de los ejes de rotación si solo se han introducido EG de traslación durante la simulación de los ensayos.

		PDGE (solo se han introducido errores PDGE)								
		ABC			XYZ			XYZABC		
		1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR
XYZ	Err. Optim.	0.00000	0	0	0.00319	0.00119	0.0028	0.00319	0.00119	0.0028
	Err. Sint.	0	0	0	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067
	% Identif.	NaN%	NaN%	NaN%	52.42%	82.32%	58.29%	52.42%	82.32%	58.29%
ABC	Err. Optim.	0	0.00045	0.00064	0.0027	0.00134	0.00184	0.00086	0.00056	0.00089
	Err. Sint.	0.00341	0.00341	0.00341	0.00515	0.00515	0.00515	0.00595	0.00595	0.00595
	% Identif.	99.95%	86.88%	81.30%	47.62%	74.08%	64.37%	85.58%	90.51%	85.10%
A	Err. Optim.	0.00052	0.00014	0.00035	0.00266	0.00129	0.00203	0.0017	0.00066	0.00095
	Err. Sint.	0.00197	0.00197	0.00197	0.00479	0.00479	0.00479	0.00511	0.00511	0.00511
	% Identif.	73.59%	92.92%	82.40%	44.43%	72.95%	57.64%	66.65%	87.10%	81.37%
C	Err. Optim.	0	0.00038	0.00039	0.00242	0.00126	0.00147	0.00071	0.00059	0.00073
	Err. Sint.	0.0034	0.0034	0.0034	0.00497	0.00497	0.00497	0.00593	0.00593	0.00593
	% Identif.	99.96%	88.83%	88.54%	51.32%	74.72%	70.41%	87.97%	90.05%	87.63%

Tabla 5.1: Simulaciones del grupo 1 en las que solo se han introducido PDGE. Las unidades de los errores son en mm.

Como puede verse de esta tabla, la identificación en dos fases identificando primero los errores de orientación *2F RT* parece funcionar de una mejor forma al resto de alternativas, manteniendose bastante cerca del 90 % de identificación de los errores.

Para el caso de introducir únicamente los PIGE, se obtiene la tabla 5.2. Puesto que se proponen dos métodos para identificar dichos errores, se han mostrado de la forma siguiente:

- *Precal. Fun.*, indica que se ha empleado el método alternativo propuesto de identificación de PIGE, en el que se realiza un precálculo de los PDGE para, con dichos resultados, calcular los PIGE. Dado que existen tres variantes para identificar los PDGE (*1F*, *2F RT* y *2F TR*), se han realizado pruebas con cada una de ellas.
- *LM*, indica que los PIGE se han identificado de forma directa mediante el algoritmo de LM.

El resto de parámetros de la tabla se interpretan de la misma manera que se indicó para la tabla 5.1.

		PIGE (solo se han introducido errores PIGE)											
		ABC				XYZ				XYZABC			
		Precal. Fun.			LM	Precal. Fun.			LM	Precal. Fun.			LM
		1F	2F TR	2F TR		1F	2F TR	2F TR		1F	2F TR	2F TR	
XYZ	Err. Optim.	0.01051	0.02363	0.02326	0	0.00232	0.00238	0.00181	0	0.01046	0.0243	0.02365	0.00071
	Err. Sint.	0.00935	0.00935	0.00935	0.00935	0.00233	0.00233	0.00233	0.00233	0.01022	0.01022	0.01022	0.01022
	% Identif.	-12.44%	-152.77%	-148.76%	100.00%	0.27%	-2.17%	22.11%	99.98%	-2.41%	-137.89%	-131.50%	93.09%
	Err. Optim.	0.00861	0.02177	0.02059	0	0.002	0.00206	0.00163	0	0.00819	0.0227	0.02156	0.00074
	Err. Sint.	0.00824	0.00824	0.00824	0.00824	0.002	0.002	0.002	0.002	0.00904	0.00904	0.00904	0.00904
ABC	% Identif.	-4.42%	-164.10%	-149.80%	99.99%	0.09%	-2.94%	18.32%	99.98%	9.39%	-151.24%	-138.65%	91.81%
	Err. Optim.	0.01025	0.02273	0.02245	0	0.00134	0.00137	0.00124	0	0.00995	0.02326	0.02291	0.0008
	Err. Sint.	0.0093	0.0093	0.0093	0.0093	0.00134	0.00134	0.00134	0.00134	0.00968	0.00968	0.00968	0.00968
	% Identif.	-10.19%	-144.37%	-141.29%	100.00%	-0.05%	-2.11%	7.25%	99.96%	-2.85%	-140.42%	-136.78%	91.72%
	C	Err. Optim.	0.00867	0.02208	0.02092	0	0.00228	0.00235	0.0019	0	0.00826	0.02312	0.02189
Err. Sint.		0.00822	0.00822	0.00822	0.00822	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228	0.00909	0.00909	0.00909	0.00909
% Identif.		-5.43%	-168.55%	-154.44%	99.99%	0.05%	-3.03%	16.87%	99.98%	9.15%	-154.44%	-140.91%	91.16%

Tabla 5.2: Simulaciones del grupo 1 en las que solo se han introducido PIGE. Las unidades de los errores son en mm.

Analizando los resultados de la tabla 5.2, puede observarse que al introducir únicamente los PIGE, el algoritmo de LM identifica dichos errores de manera bastante precisa. En contraste, con la opción *Precal. Fun.*, en la mayoría de los casos no se logra identificar nada, lo que sugiere que esta metodología podría ser contraproducente. Esto se debe, probablemente, a que los PDGE no logran aproximar correctamente los PIGE cuando solo se están introduciendo este tipo de errores.

Combinando ahora todos los EG, se plantean tres opciones para el cálculo de dichos errores:

- *NO identif. PIGE*, donde solo se calculan los PDGE y, por tanto, estos contienen de forma implícita los propios PIGE.
- *Precal. Fun.*, donde se calculan tanto los PDGE como los PIGE, pero estos últimos se obtienen realizando un precálculo de los PDGE.
- *LM*, donde también se calculan los PDGE y los PIGE, pero los PIGE se identifican directamente mediante el algoritmo de LM.

		PDGE + PIGE								
		NO identif. PIGE			Precal. Fun.			LM		
		1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR
XYZ	Err. Optim.	0.00247	0.00151	0.00157	0.00592	0.0037	0.00195	0.0029	0.00135	0.00088
	Err. Sint.	0.01408	0.01408	0.01408	0.01408	0.01408	0.01408	0.01408	0.01408	0.01408
	% Identif.	82.45%	89.28%	88.83%	57.92%	73.72%	86.15%	79.40%	90.38%	93.75%
ABC	Err. Optim.	0.00064	0.001	0.00106	0.00123	0.00167	0.00177	0.00144	0.00089	0.00088
	Err. Sint.	0.01214	0.01214	0.01214	0.01214	0.01214	0.01214	0.01214	0.01214	0.01214
	% Identif.	94.74%	91.78%	91.24%	89.83%	86.27%	85.44%	88.13%	92.69%	92.76%
A	Err. Optim.	0.00097	0.00079	0.00118	0.00326	0.00188	0.00168	0.00263	0.00172	0.00173
	Err. Sint.	0.0124	0.0124	0.0124	0.0124	0.0124	0.0124	0.0124	0.0124	0.0124
	% Identif.	92.18%	93.59%	90.49%	73.70%	84.85%	86.43%	78.78%	86.14%	86.02%
C	Err. Optim.	0.00042	0.00093	0.00084	0.00057	0.00121	0.00128	0.0034	0.00181	0.00176
	Err. Sint.	0.01214	0.01214	0.01214	0.01214	0.01214	0.01214	0.01214	0.01214	0.01214
	% Identif.	96.55%	92.31%	93.07%	95.27%	90.07%	89.45%	72.01%	85.08%	85.49%

Tabla 5.3: Simulaciones del grupo 1 en las que se han introducido PDGE y PIGE. Las unidades de los errores están en mm.

En base a los resultados de la tabla 5.3, el método que parece reducir en mayor medida el error volumétrico es aquel en el que no se identifican los PIGE, optando únicamente por identificar unos PDGE que engloben todos los errores de la máquina. A pesar del mal desempeño de la opción *Precal. Fun.* en la tabla 5.2, en la tabla 5.3 se han obtenido resultados notablemente satisfactorios, aunque estos siguen siendo inferiores al método que no calcula los PIGE.

Por último, para este grupo 1 de ensayos, se han vuelto a repetir las nueve simulaciones de la tabla 5.3, pero esta vez introduciendo el ruido de medida del TSB. Cabe destacar que, cuanto mayores sean los EG, menor será la influencia que tendrá sobre la identificación de estos la incertidumbre de medición del TSB, y viceversa. La tabla 5.4 muestra los resultados obtenidos de dichas simulaciones.

		PDGE + PIGE + Ruido								
		NO identif. PIGE			Precal. Fun.			LM		
		1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR
XYZ	Err. Optim.	0.01117	0.00424	0.00411	0.01421	0.01092	0.00968	0.00434	0.00331	0.00347
	Err. Sint.	0.01439	0.01435	0.01436	0.01442	0.01425	0.01442	0.01442	0.01432	0.01437
	% Identif.	22.36%	70.49%	71.39%	1.46%	23.33%	32.87%	69.89%	76.89%	75.83%
ABC	Err. Optim.	0.00457	0.00309	0.00328	0.00441	0.00586	0.00688	0.00303	0.00306	0.00317
	Err. Sint.	0.01236	0.01261	0.01241	0.01248	0.01225	0.01257	0.01252	0.01252	0.0125
	% Identif.	63.07%	75.50%	73.58%	64.64%	52.12%	45.30%	75.82%	75.57%	74.63%
A	Err. Optim.	0.00715	0.00327	0.00351	0.00706	0.00755	0.00943	0.00433	0.0037	0.00442
	Err. Sint.	0.01282	0.01268	0.01282	0.01269	0.01255	0.01288	0.01287	0.01265	0.01253
	% Identif.	44.25%	74.18%	72.65%	44.31%	39.87%	26.74%	66.37%	70.72%	64.75%
C	Err. Optim.	0.00391	0.00321	0.00358	0.00907	0.00607	0.00678	0.00449	0.00386	0.00422
	Err. Sint.	0.01235	0.01238	0.01271	0.0121	0.01254	0.01231	0.01227	0.01247	0.01275
	% Identif.	68.36%	74.07%	71.84%	25.06%	51.57%	44.88%	63.39%	69.07%	66.88%

Tabla 5.4: Simulaciones del grupo 1 en las que se han introducido PDGE, PIGE y el ruido de medición del TSB. Las unidades de los errores están en mm.

Los resultados mostrados en la tabla 5.4 indican que los dos métodos que pueden emplearse para la verificación de la máquina son tanto la opción en la que no se identifican los PIGE como la opción en la que se identifican los PIGE mediante LM de forma directa. En ambos casos, se observa una ligera mejoría en los resultados al realizar la identificación de los PDGE en dos fases. Se estima que la razón principal de ello radica en la escala de los diferentes coeficientes que deben identificarse, ya que estos se encuentran tanto en radianes como en milímetros, lo que puede generar una diferencia de magnitudes elevada. Este problema parece mitigarse al realizar la identificación de los PDGE en dos fases, siendo esta opción más robusta, aunque los coeficientes puedan verse afectados por el orden de identificación.

En el resto de grupos no se vuelve a explicar la forma de interpretar la tabla, simplemente se comentan los resultados para evitar redundancias.

5.1.2. Grupo 2

Para este grupo de ensayos las funciones sintéticas de error introducidas son las mostradas en las figuras 5.3 y 5.4.

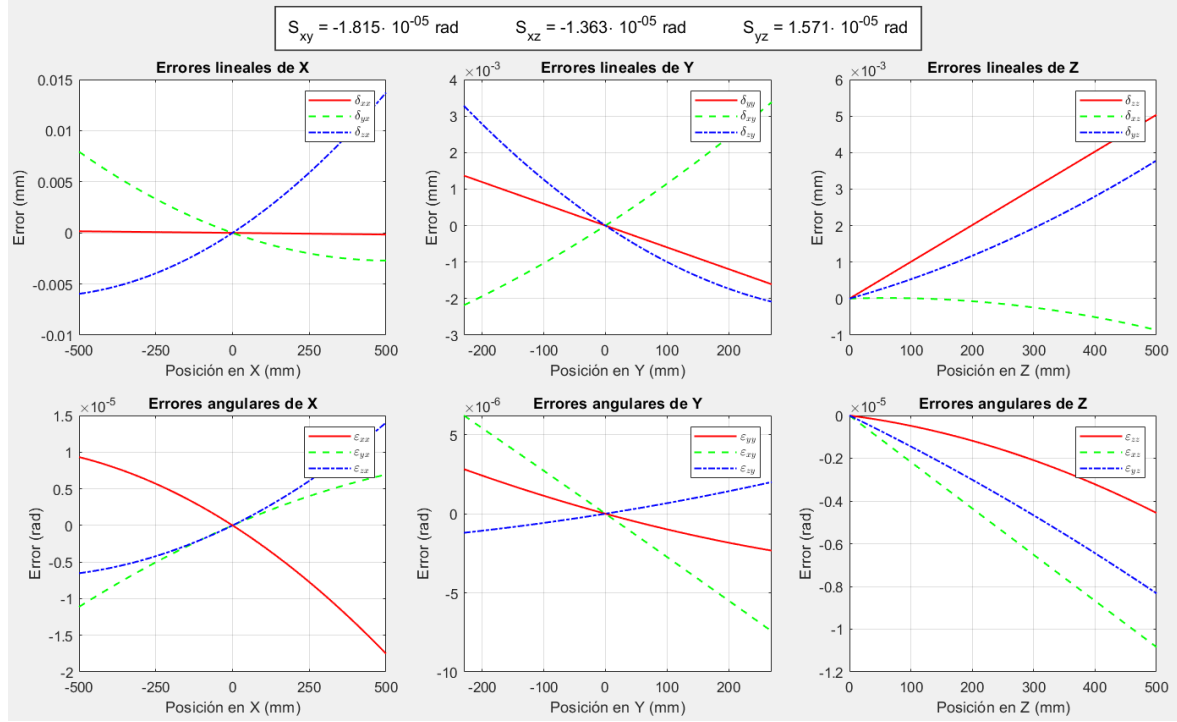


Figura 5.3: Funciones de error de los ejes X Y Z para el grupo 2 de simulaciones.

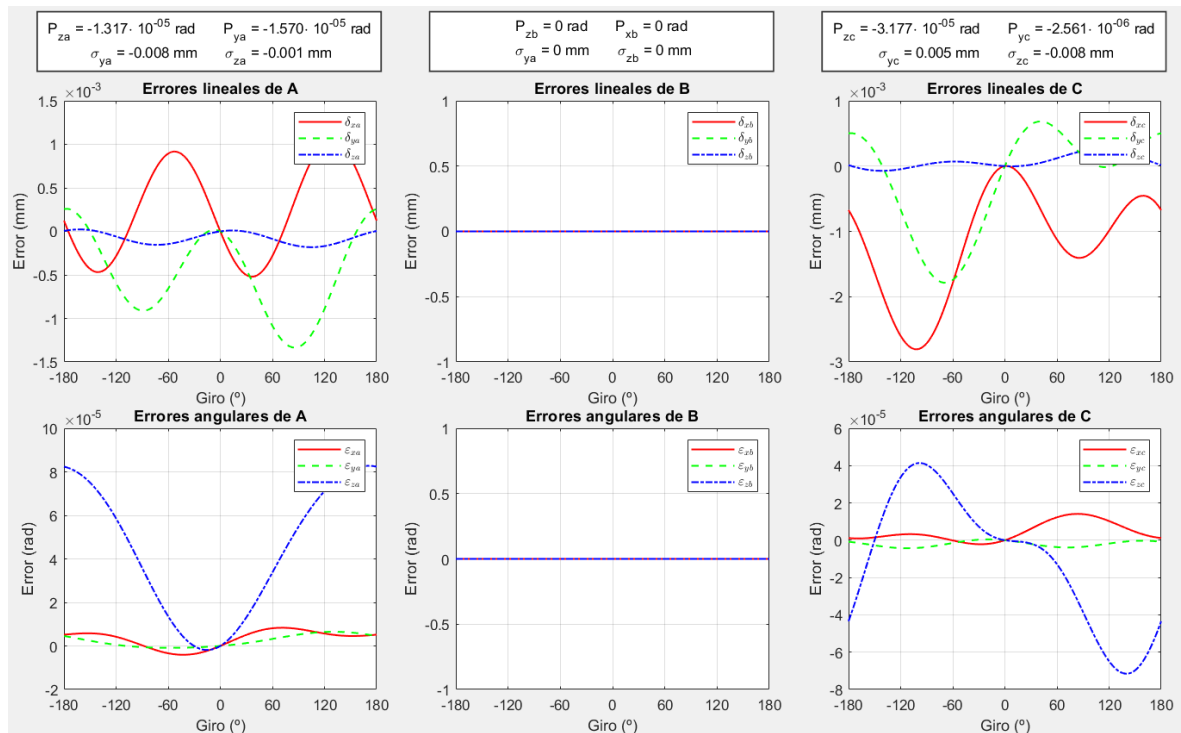


Figura 5.4: Funciones de error de los ejes A B C para el grupo 2 de simulaciones.

Los las simulaciones en las que solo se han introducido los PDGE como errores sintéticos quedan recogidos en la tabla 5.5.

		PDGE (solo se han introducido errores PDGE)								
		ABC			XYZ			XYZABC		
		1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR
XYZ	Err. Optim.	0	0	0	0.00347	0.00094	0.00044	0.00347	0.00094	0.00044
	Err. Sint.	0	0	0	0.00624	0.00624	0.00624	0.00624	0.00624	0.00624
	% Identif.	NaN%	NaN%	NaN%	44.40%	84.87%	92.98%	44.40%	84.87%	92.98%
ABC	Err. Optim.	0	0.00027	0.00037	0.00314	0.00116	0.00095	0.00156	0.00037	0.00054
	Err. Sint.	0.00228	0.00228	0.00228	0.00573	0.00573	0.00573	0.00648	0.00648	0.00648
	% Identif.	99.94%	87.97%	83.58%	45.21%	79.78%	83.39%	75.85%	94.34%	91.74%
A	Err. Optim.	0.00023	0.00017	0.00022	0.00342	0.00098	0.00088	0.00263	0.00048	0.0004
	Err. Sint.	0.00147	0.00147	0.00147	0.00616	0.00616	0.00616	0.00674	0.00674	0.00674
	% Identif.	84.27%	88.48%	85.13%	44.45%	84.12%	85.76%	61.04%	92.89%	94.08%
C	Err. Optim.	0.00008	0.00021	0.00022	0.00295	0.00109	0.00083	0.00142	0.00032	0.0004
	Err. Sint.	0.00162	0.00162	0.00162	0.00567	0.00567	0.00567	0.00593	0.00593	0.00593
	% Identif.	95.34%	87.32%	86.44%	48.03%	80.85%	85.41%	76.02%	94.58%	93.33%

Tabla 5.5: Simulaciones del grupo 2 en las que solo se han introducido PDGE. Las unidades de los errores son en mm.

Los resultados de la tabla 5.5 son similares a los de la tabla 5.1, por lo que la identificación de PDGE parece dar unos resultados de entorno al 90 % en cuanto a la identificación de este tipo de errores respecta.

Para el caso de la identificación de PIGE, pueden verse los resultados en la tabla 5.6.

		PIGE (solo se han introducido errores PIGE)											
		ABC				XYZ				XYZABC			
		Precal. Fun.			LM	Precal. Fun.			LM	Precal. Fun.			LM
		1F	2F RT	2F TR		1F	2F RT	2F TR		1F	2F RT	2F TR	
XYZ	Err. Optim.	0.01106	0.01141	0.01237	0	0.00203	0.00202	0.00161	0	0.01085	0.01121	0.01391	0.00192
	Err. Sint.	0.01892	0.01892	0.01892	0.01892	0.00203	0.00203	0.00203	0.00203	0.01729	0.01729	0.01729	0.01729
	% Identif.	41.53%	39.69%	34.60%	100.00%	-0.02%	0.07%	20.33%	99.99%	37.25%	35.17%	19.55%	86.92%
ABC	Err. Optim.	0.01146	0.01213	0.01335	0	0.00176	0.00176	0.00133	0	0.01093	0.01196	0.01435	0.00699
	Err. Sint.	0.018	0.018	0.018	0.018	0.00176	0.00176	0.00176	0.00176	0.0164	0.0164	0.0164	0.0164
	% Identif.	36.34%	32.60%	25.82%	100.00%	0.00%	0.01%	24.52%	99.99%	33.36%	27.05%	12.47%	57.36%
A	Err. Optim.	0.0107	0.01098	0.01182	0	0.00109	0.00109	0.00093	0	0.01083	0.01062	0.01255	0.00621
	Err. Sint.	0.01826	0.01826	0.01826	0.01826	0.00109	0.00109	0.00109	0.00109	0.01751	0.01751	0.01751	0.01751
	% Identif.	41.42%	39.86%	35.26%	100.00%	-0.13%	0.30%	14.67%	99.97%	38.15%	39.37%	28.32%	64.56%
C	Err. Optim.	0.01188	0.01299	0.01436	0	0.00201	0.00201	0.00151	0	0.01137	0.0129	0.01597	0.00499
	Err. Sint.	0.01882	0.01882	0.01882	0.01882	0.00201	0.00201	0.00201	0.00201	0.01692	0.01692	0.01692	0.01692
	% Identif.	36.86%	31.00%	23.68%	100.00%	0.00%	0.02%	24.71%	99.99%	32.80%	23.74%	5.57%	70.52%

Tabla 5.6: Simulaciones del grupo 2 en las que solo se han introducido PIGE. Las unidades de los errores son en mm.

Aunque para este caso parecen mejorar ligeramente los resultados obtenidos con la opción *Precal. Fun.*, los de *LM* parecen haber empeorado ligeramente, por lo que los resultados mostrados siguiendo este tipo de estrategias parece depender de las magnitudes de los PIGE y la interacción entre ellos.

La tabla 5.7 muestra los resultados en los que se han introducido tanto PIGE como PDGE.

		PDGE + PIGE								
		NO identif. PIGE			Precal. Fun.			LM		
		1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR
XYZ	Err. Optim.	0.00825	0.00341	0.0022	0.0034	0.00293	0.00135	0.0029	0.00247	0.00223
	Err. Sint.	0.01825	0.01825	0.01825	0.01825	0.01825	0.01825	0.01825	0.01825	0.01825
	% Identif.	54.79%	81.33%	87.94%	81.35%	83.92%	92.60%	84.13%	86.45%	87.77%
ABC	Err. Optim.	0.00314	0.00182	0.00088	0.00274	0.00342	0.00206	0.00585	0.00489	0.00433
	Err. Sint.	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195
	% Identif.	83.89%	90.67%	95.48%	85.95%	82.44%	89.41%	69.97%	74.93%	77.81%
A	Err. Optim.	0.01166	0.00252	0.00109	0.0039	0.00262	0.00139	0.0063	0.00639	0.00583
	Err. Sint.	0.01985	0.01985	0.01985	0.01985	0.01985	0.01985	0.01985	0.01985	0.01985
	% Identif.	41.25%	87.33%	94.50%	80.37%	86.80%	92.98%	68.25%	67.79%	70.64%
C	Err. Optim.	0.0061	0.00186	0.00065	0.00371	0.00297	0.00155	0.00516	0.0057	0.00495
	Err. Sint.	0.01907	0.01907	0.01907	0.01907	0.01907	0.01907	0.01907	0.01907	0.01907
	% Identif.	68.03%	90.26%	96.58%	80.52%	84.41%	91.89%	72.96%	70.11%	74.02%

Tabla 5.7: Simulaciones del grupo 2 en las que se han introducido PDGE y PIGE. Las unidades de los errores están en mm.

En este caso, la mejor opción parece ser emplear la estrategia de no identificar los PIGE, como también se observó en la tabla 5.3. El resto de los casos parece haber empeorado, por lo que la forma más robusta y con mejores resultados parece ser la opción de no identificar los PIGE e identificar los PDGE en dos fases.

Si se introduce el ruido del TSB en unas simulaciones similares a las de la tabla anterior, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 5.8.

		PDGE + PIGE + Ruido								
		NO identif. PIGE			Precal. Fun.			LM		
		1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR
XYZ	Err. Optim.	0.01563	0.00341	0.00601	0.00456	0.00483	0.00675	0.00407	0.00375	0.00406
	Err. Sint.	0.01822	0.01835	0.01816	0.01845	0.01811	0.01851	0.01823	0.01863	0.019
	% Identif.	14.21%	81.40%	66.92%	75.28%	73.32%	63.51%	77.68%	79.90%	78.63%
ABC	Err. Optim.	0.00575	0.00322	0.00326	0.00358	0.00404	0.00451	0.0056	0.00559	0.00554
	Err. Sint.	0.01926	0.01958	0.01966	0.01964	0.02004	0.01982	0.01975	0.01976	0.01965
	% Identif.	70.14%	83.54%	83.40%	81.75%	79.85%	77.25%	71.63%	71.69%	71.82%
A	Err. Optim.	0.01108	0.00345	0.00429	0.00371	0.00452	0.00451	0.00898	0.00807	0.00727
	Err. Sint.	0.01973	0.01961	0.02006	0.01964	0.02017	0.0202	0.01996	0.01991	0.01942
	% Identif.	43.83%	82.43%	78.64%	81.09%	77.57%	77.67%	55.04%	59.49%	62.56%
C	Err. Optim.	0.00598	0.00316	0.00394	0.00358	0.00376	0.00366	0.00626	0.00677	0.00675
	Err. Sint.	0.01915	0.01933	0.01914	0.01944	0.01924	0.0196	0.01933	0.01938	0.01921
	% Identif.	68.79%	83.67%	79.44%	81.58%	80.47%	81.31%	67.62%	65.05%	64.85%

Tabla 5.8: Simulaciones del grupo 2 en las que se han introducido PDGE, PIGE y el ruido de medición del TSB. Las unidades de los errores están en mm.

Se vuelve a observar que no identificar los PIGE proporciona resultados muy satisfactorios si se identifican los PDGE en dos fases. En este caso, la identificación de los PIGE precalculando los PDGE también ha mostrado resultados bastante elevados, alcanzando valores cercanos al 80 %.

5.1.3. Grupo 3

Para este grupo de ensayos las funciones sintéticas de error introducidas son una variación proporcional de las introducidas en el Grupo 1. Los PDGE introducidos son los mismos, pero los PIGE se verán modificados por una constante. Para el caso de los PIGE que muestran un ángulo, como son los de perpendicularidad y paralelismo, se han multiplicado por 5. Para el caso de los PIGE lineales, los de centrado, sus valores se han multiplicado por 10. Los errores resultantes introducidos para la simulación de este grupo se muestran en las figuras 5.5 y 5.6.

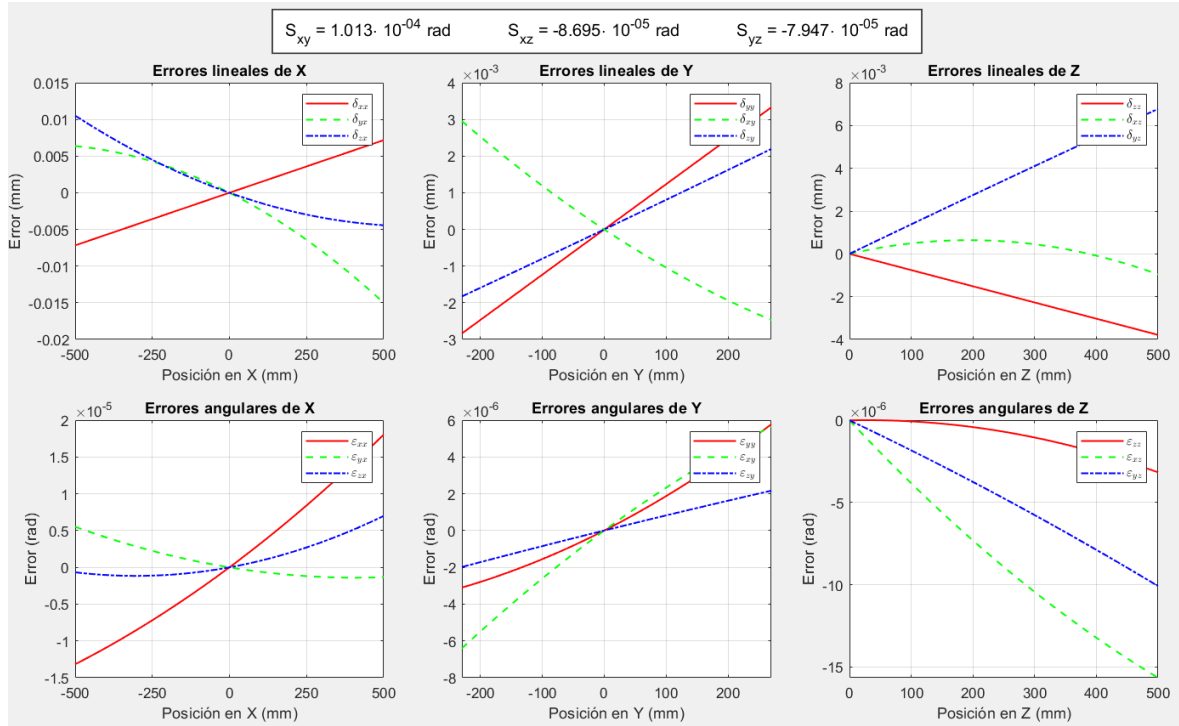


Figura 5.5: Funciones de error de los ejes X Y Z para el grupo 3 de simulaciones.

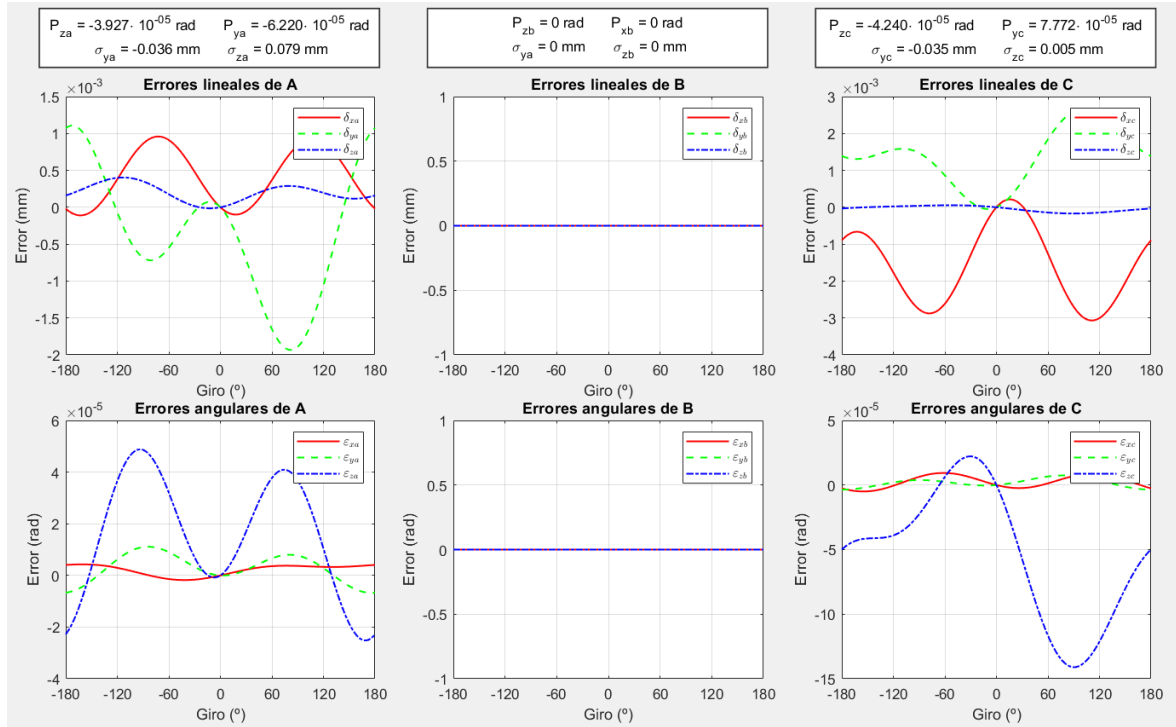


Figura 5.6: Funciones de error de los ejes A B C para el grupo 3 de simulaciones.

Los las simulaciones en las que solo se han introducido los PDGE como errores sintéticos quedan recogidos en la tabla 5.9.

		PDGE (solo se han introducido errores PDGE)								
		ABC			XYZ			XYZABC		
		1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR
XYZ	Err. Optim.	0	0	0	0.00319	0.00119	0.0028	0.00319	0.00119	0.0028
	Err. Sint.	0	0	0	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067
	% Identif.	NaN%	NaN%	NaN%	52.42%	82.32%	58.29%	52.42%	82.32%	58.29%
ABC	Err. Optim.	0	0.00045	0.00064	0.0027	0.00134	0.00184	0.00086	0.00056	0.00089
	Err. Sint.	0.00341	0.00341	0.00341	0.00515	0.00515	0.00515	0.00595	0.00595	0.00595
	% Identif.	99.95%	86.88%	81.30%	47.62%	74.08%	64.37%	85.58%	90.51%	85.10%
A	Err. Optim.	0.00052	0.00014	0.00035	0.00266	0.00129	0.00203	0.0017	0.00066	0.00095
	Err. Sint.	0.00197	0.00197	0.00197	0.00479	0.00479	0.00479	0.00511	0.00511	0.00511
	% Identif.	73.59%	92.92%	82.40%	44.43%	72.95%	57.64%	66.65%	87.10%	81.37%
C	Err. Optim.	0	0.00038	0.00039	0.00242	0.00126	0.00147	0.00071	0.00059	0.00073
	Err. Sint.	0.0034	0.0034	0.0034	0.00497	0.00497	0.00497	0.00593	0.00593	0.00593
	% Identif.	99.96%	88.83%	88.54%	51.32%	74.72%	70.41%	87.97%	90.05%	87.63%

Tabla 5.9: Simulaciones del grupo 3 en las que solo se han introducido PDGE. Las unidades de los errores son en mm.

Los resultados de la tabla 5.9 son exactamente iguales a los de la tabla 5.1, lo cual demuestra que el algoritmo de LM siempre llega a los mismos valores si se le introducen los mismos datos de entrada, por lo que se trata de un algoritmo determinista.

Para el caso de la identificación de PIGE, pueden verse los resultados en la tabla 5.10.

PIGE (solo se han introducido errores PIGE)												
ABC				XYZ				XYZABC				
		Precal. Fun.			LM	Precal. Fun.			LM	Precal. Fun.		
		1F	2F RT	2F TR		1F	2F RT	2F TR		1F	2F RT	2F TR
XYZ	Err. Optim.	0.09716	0.22962	0.2272	0	0.01163	0.01089	0.00825	0	0.0959	0.2328	0.23764
	Err. Sint.	0.09201	0.09201	0.09201	0.09201	0.01163	0.01163	0.01163	0.01163	0.09661	0.09661	0.09661
	% Identif.	-5.60%	-149.57%	-146.94%	100.00%	0.00%	6.38%	29.12%	100.00%	0.74%	-140.96%	-145.97%
ABC	Err. Optim.	0.08216	0.2161	0.20681	0	0.01	0.00895	0.00746	0	0.08029	0.21924	0.22112
	Err. Sint.	0.08655	0.08655	0.08655	0.08655	0.01	0.01	0.01	0.01	0.091	0.091	0.091
	% Identif.	5.06%	-149.69%	-138.96%	100.00%	0.00%	10.46%	25.43%	100.00%	11.77%	-140.93%	-142.99%
A	Err. Optim.	0.0939	0.21976	0.21818	0	0.00671	0.00484	0.00541	0	0.0907	0.22422	0.22783
	Err. Sint.	0.09187	0.09187	0.09187	0.09187	0.00671	0.00671	0.00671	0.00671	0.0942	0.0942	0.0942
	% Identif.	-2.20%	-139.20%	-137.48%	100.00%	0.00%	27.87%	19.44%	99.99%	3.71%	-138.03%	-141.86%
C	Err. Optim.	0.08225	0.21937	0.21001	0	0.01142	0.01001	0.00864	0	0.08041	0.22277	0.22451
	Err. Sint.	0.08621	0.08621	0.08621	0.08621	0.01142	0.01142	0.01142	0.01142	0.09122	0.09122	0.09122
	% Identif.	4.59%	-154.45%	-143.60%	100.00%	0.00%	12.37%	24.35%	99.99%	11.84%	-144.22%	-146.13%

Tabla 5.10: Simulaciones del grupo 3 en las que solo se han introducido PIGE. Las unidades de los errores son en mm.

Pese a haber aumentado las magnitudes de los PIGE, los resultados obtenidos son similares a los obtenidos en la tabla 5.2

La tabla 5.11 muestra los resultados en los que se han introducido tanto PIGE como PDGE.

PDGE + PIGE									
NO identif. PIGE				Precal. Fun.			LM		
		1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT
		2F TR	1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR	1F
XYZ	Err. Optim.	0.096	0.00874	0.00635	0.09774	0.00743	0.00344	0.00423	0.00368
	Err. Sint.	0.09917	0.09917	0.09917	0.09917	0.09917	0.09917	0.09917	0.09917
	% Identif.	3.20%	91.19%	93.60%	1.44%	92.51%	96.53%	95.73%	96.29%
ABC	Err. Optim.	0.06211	0.003	0.00317	0.06455	0.00718	0.00524	0.01054	0.00758
	Err. Sint.	0.09292	0.09292	0.09292	0.09292	0.09292	0.09292	0.09292	0.09292
	% Identif.	33.16%	96.77%	96.59%	30.53%	92.27%	94.36%	88.66%	91.84%
A	Err. Optim.	0.07404	0.0015	0.00395	0.0783	0.00608	0.00565	0.03815	0.04928
	Err. Sint.	0.09611	0.09611	0.09611	0.09611	0.09611	0.09611	0.09611	0.09611
	% Identif.	22.97%	98.44%	95.89%	18.53%	93.68%	94.12%	60.31%	48.72%
C	Err. Optim.	0.0698	0.00104	0.00265	0.07283	0.00355	0.0033	0.05823	0.08172
	Err. Sint.	0.09295	0.09295	0.09295	0.09295	0.09295	0.09295	0.09295	0.09295
	% Identif.	24.90%	98.88%	97.15%	21.64%	96.18%	96.45%	37.35%	12.08%

Tabla 5.11: Simulaciones del grupo 3 en las que se han introducido PDGE y PIGE. Las unidades de los errores están en mm.

Puede apreciarse que con un aumento en los PIGE el peso de los PDGE en la influencia de las desviaciones de la máquina parece ser ligeramente menor y puede que por ello se muestre que la identificación de únicamente de los PDGE o la de los PIGE precalculando los PDGE den valores tan elevados al realizarse en dos fases.

Si se introduce el ruido del TSB en unas simulaciones similares a las de la tabla anterior, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 5.12.

		PDGE + PIGE + Ruido								
		NO identif. PIGE			Precal. Fun.			LM		
		1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR
XYZ	Err. Optim.	0.09597	0.0244	0.0251	0.09788	0.02106	0.03228	0.0048	0.00372	0.00386
	Err. Sint.	0.09914	0.09918	0.09908	0.09907	0.09908	0.09926	0.09943	0.09937	0.09941
	% Identif.	3.20%	75.40%	74.66%	1.20%	78.74%	67.48%	95.17%	96.25%	96.12%
ABC	Err. Optim.	0.06237	0.0098	0.00656	0.03248	0.02789	0.01964	0.00818	0.00798	0.00776
	Err. Sint.	0.093	0.09283	0.09306	0.09281	0.09305	0.09286	0.09319	0.09301	0.09316
	% Identif.	32.94%	89.45%	92.95%	65.01%	70.03%	78.85%	91.22%	91.43%	91.67%
A	Err. Optim.	0.07427	0.01373	0.00937	0.07837	0.02042	0.02845	0.01399	0.0149	0.01837
	Err. Sint.	0.09644	0.0961	0.09605	0.0962	0.0961	0.09622	0.09603	0.09585	0.09621
	% Identif.	22.99%	85.72%	90.24%	18.54%	78.75%	70.43%	85.43%	84.46%	80.91%
C	Err. Optim.	0.07002	0.00959	0.00648	0.07304	0.01765	0.01859	0.01441	0.01126	0.01809
	Err. Sint.	0.09313	0.09282	0.09278	0.09311	0.09334	0.09336	0.09277	0.09303	0.09323
	% Identif.	24.82%	89.66%	93.02%	21.55%	81.09%	80.09%	84.46%	87.90%	80.60%

Tabla 5.12: Simulaciones del grupo 3 en las que se han introducido PDGE, PIGE y el ruido de medición del TSB. Las unidades de los errores están en mm.

En contraste a lo visto en los otros grupos, en esta tabla la identificación de los errores con las 3 estrategias parecen dar unos resultados similares que se encuentran más o menos entre el 80 % y 90 % de identificación de los errores. Esto puede deberse a que la influencia del ruido del TSB decrece al aumentar las desviaciones causadas por los PIGE.

5.1.4. Grupo 4

Para este grupo de ensayos, al igual que en el caso anterior, las funciones sintéticas de error introducidas son una variación proporcional de las introducidas en el Grupo 1. Ahora los PIGE se quedan igual que en el grupo 1, pero los coeficientes de los PDGE se verán modificados por una constante. Para el caso de los PDGE de orientación, representados por ε , se han multiplicado por 2.5, mientras que para los lineales, representados por δ , se han multiplicado sus coeficientes por 5. Los errores resultantes introducidos para la simulación de este grupo se muestran en las figuras 5.7 y 5.8.

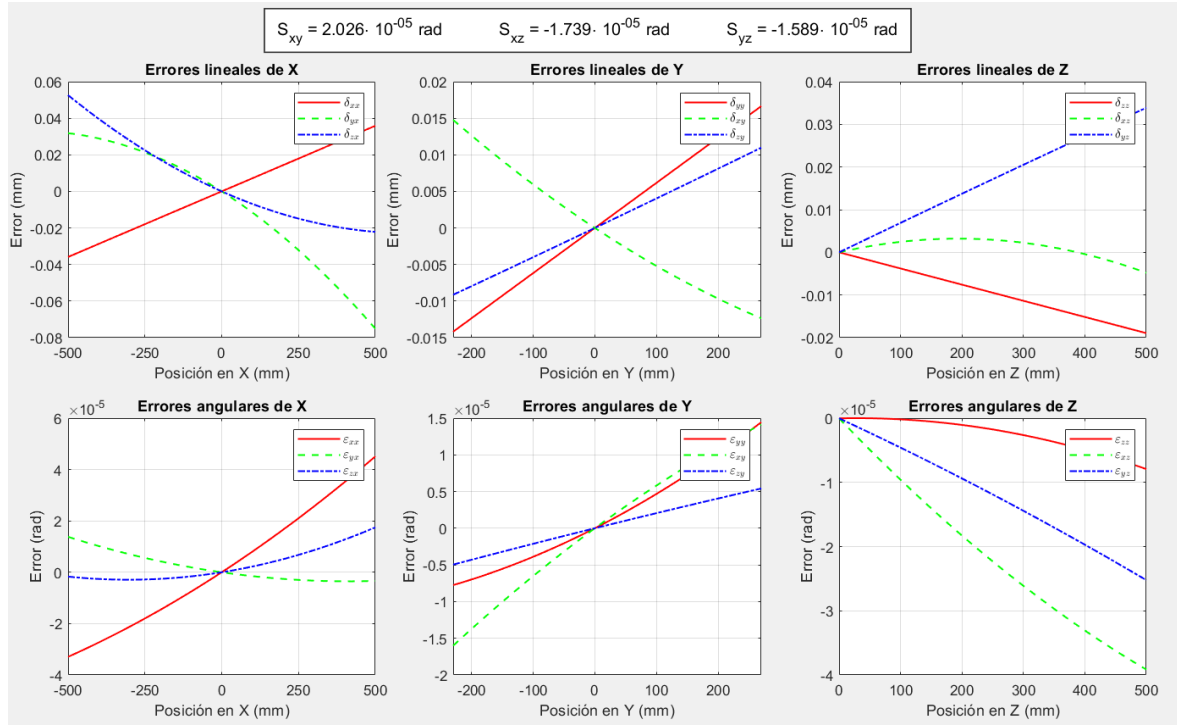


Figura 5.7: Funciones de error de los ejes X Y Z para el grupo 4 de simulaciones.

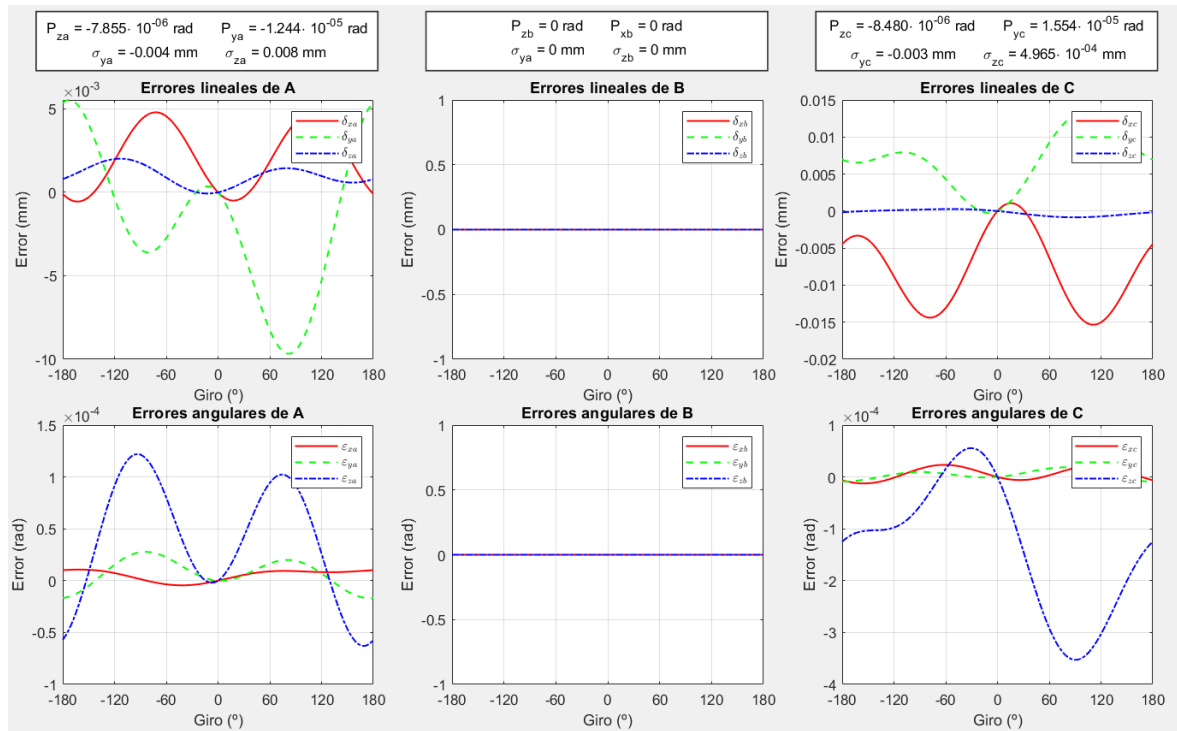


Figura 5.8: Funciones de error de los ejes A B C para el grupo 4 de simulaciones.

Los las simulaciones en las que solo se han introducido los PDGE como errores sintéticos quedan recogidos en la tabla 5.13.

		PDGE (solo se han introducido errores PDGE)								
		ABC			XYZ			XYZABC		
		1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR
XYZ	Err. Optim.	0	0	0	0.00573	0.00265	0.00282	0.00573	0.00265	0.00282
	Err. Sint.	0	0	0	0.03221	0.03221	0.03221	0.03221	0.03221	0.03221
	% Identif.	NaN%	NaN%	NaN%	82.22%	91.76%	91.24%	82.22%	91.76%	91.24%
ABC	Err. Optim.	0.00001	0.00224	0.00157	0.0036	0.00312	0.00238	0.00247	0.00242	0.00201
	Err. Sint.	0.01126	0.01126	0.01126	0.02665	0.02665	0.02665	0.02668	0.02668	0.02668
	% Identif.	99.95%	80.11%	86.02%	86.51%	88.28%	91.07%	90.72%	90.95%	92.48%
A	Err. Optim.	0.0026	0.00071	0.0009	0.00373	0.00281	0.00267	0.0033	0.00094	0.00184
	Err. Sint.	0.00616	0.00616	0.00616	0.02533	0.02533	0.02533	0.02825	0.02825	0.02825
	% Identif.	57.71%	88.50%	85.37%	85.27%	88.90%	89.45%	88.32%	96.68%	93.49%
C	Err. Optim.	0.00002	0.0019	0.00097	0.00358	0.00241	0.00174	0.00429	0.00232	0.0016
	Err. Sint.	0.01173	0.01173	0.01173	0.02674	0.02674	0.02674	0.02496	0.02496	0.02496
	% Identif.	99.84%	83.79%	91.74%	86.62%	90.99%	93.49%	82.82%	90.71%	93.60%

Tabla 5.13: Simulaciones del grupo 4 en las que solo se han introducido PDGE. Las unidades de los errores son en mm.

Los resultados de la tabla 5.13 son similares a los de la tabla 5.1, por lo que se sigue manteniendo que la identificación de PDGE parece dar unos resultados de entorno al 90 %.

Para el caso de la identificación de PIGE, pueden verse los resultados en la tabla 5.14.

		PIGE (solo se han introducido errores PIGE)											
		ABC				XYZ				XYZABC			
		Precal. Fun.			LM	Precal. Fun.			LM	Precal. Fun.			LM
		1F	2F RT	2F TR		1F	2F RT	2F TR		1F	2F RT	2F TR	
XYZ	Err. Optim.	0.01051	0.02363	0.02326	0	0.00232	0.00238	0.00181	0	0.01046	0.0243	0.02365	0.00071
	Err. Sint.	0.00935	0.00935	0.00935	0.00935	0.00233	0.00233	0.00233	0.00233	0.01022	0.01022	0.01022	0.01022
	% Identif.	-12.44%	-152.77%	-148.76%	100.00%	0.27%	-2.17%	22.11%	99.98%	-2.41%	-137.89%	-131.50%	93.09%
ABC	Err. Optim.	0.00861	0.02177	0.02059	0	0.002	0.00206	0.00163	0	0.00819	0.0227	0.02156	0.00074
	Err. Sint.	0.00824	0.00824	0.00824	0.00824	0.002	0.002	0.002	0.002	0.00904	0.00904	0.00904	0.00904
	% Identif.	-4.42%	-164.10%	-149.80%	99.99%	0.09%	-2.94%	18.32%	99.98%	9.39%	-151.24%	-138.65%	91.81%
A	Err. Optim.	0.01025	0.02273	0.02245	0	0.00134	0.00137	0.00124	0	0.00995	0.02326	0.02291	0.0008
	Err. Sint.	0.0093	0.0093	0.0093	0.0093	0.00134	0.00134	0.00134	0.00134	0.00968	0.00968	0.00968	0.00968
	% Identif.	-10.19%	-144.37%	-141.29%	100.00%	-0.05%	-2.11%	7.25%	99.96%	-2.85%	-140.42%	-136.78%	91.72%
C	Err. Optim.	0.00867	0.02208	0.02092	0	0.00228	0.00235	0.0019	0	0.00826	0.02312	0.02189	0.0008
	Err. Sint.	0.00822	0.00822	0.00822	0.00822	0.00228	0.00228	0.00228	0.00228	0.00909	0.00909	0.00909	0.00909
	% Identif.	-5.43%	-168.55%	-154.44%	99.99%	0.05%	-3.03%	16.87%	99.98%	9.15%	-154.44%	-140.91%	91.16%

Tabla 5.14: Simulaciones del grupo 4 en las que solo se han introducido PIGE. Las unidades de los errores son en mm.

Los resultados recogidos en esta tabla son idénticos a los de la tabla 5.2 puesto que el algoritmo LM es de tipo determinista y los PIGE introducidos son los mismos que en el grupo 1.

La tabla 5.15 muestra los resultados en los que se han introducido tanto PIGE como PDGE.

		PDGE + PIGE								
		NO identif. PIGE			Precal. Fun.			LM		
		1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR
XYZ	Err. Optim.	0.00699	0.00284	0.01104	0.03648	0.00414	0.01256	0.01331	0.00355	0.00288
	Err. Sint.	0.03945	0.03945	0.03945	0.03945	0.03945	0.03945	0.03945	0.03945	0.03945
	% Identif.	82.29%	92.79%	72.02%	7.54%	89.50%	68.15%	66.27%	91.00%	92.69%
ABC	Err. Optim.	0.00326	0.00272	0.00335	0.01592	0.00492	0.00538	0.00467	0.00472	0.00431
	Err. Sint.	0.03311	0.03311	0.03311	0.03311	0.03311	0.03311	0.03311	0.03311	0.03311
	% Identif.	90.15%	91.78%	89.87%	51.93%	85.15%	83.75%	85.88%	85.75%	86.98%
A	Err. Optim.	0.00879	0.00119	0.00417	0.02044	0.00414	0.00605	0.01018	0.01084	0.01009
	Err. Sint.	0.03525	0.03525	0.03525	0.03525	0.03525	0.03525	0.03525	0.03525	0.03525
	% Identif.	75.06%	96.62%	88.18%	42.00%	88.25%	82.84%	71.13%	69.25%	71.37%
C	Err. Optim.	0.00426	0.0025	0.00291	0.02245	0.00384	0.00454	0.01742	0.01574	0.01547
	Err. Sint.	0.03161	0.03161	0.03161	0.03161	0.03161	0.03161	0.03161	0.03161	0.03161
	% Identif.	86.53%	92.10%	90.80%	28.98%	87.84%	85.65%	44.87%	50.19%	51.06%

Tabla 5.15: Simulaciones del grupo 4 en las que se han introducido PDGE y PIGE. Las unidades de los errores están en mm.

En este caso, los resultados tienen bastantes similitudes con la tabla 5.11 en la que se aumentaron los PIGE. Se sigue manteniendo que la mejor opción parece ser emplear la estrategia de no identificar los PIGE, y como mejor estrategia para identificar los PIGE se recomienda la opción de precálculo de PDGE.

Si se introduce el ruido del TSB en unas simulaciones similares a las de la tabla anterior, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 5.16.

		PDGE + PIGE + Ruido								
		NO identif. PIGE			Precal. Fun.			LM		
		1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR	1F	2F RT	2F TR
XYZ	Err. Optim.	0.03565	0.0052	0.01185	0.0382	0.00626	0.00811	0.00916	0.0042	0.00482
	Err. Sint.	0.03963	0.03956	0.03944	0.03948	0.03985	0.03955	0.03961	0.03979	0.03984
	% Identif.	10.04%	86.85%	69.96%	3.25%	84.30%	79.48%	76.86%	89.45%	87.91%
ABC	Err. Optim.	0.02591	0.00383	0.00513	0.01535	0.00641	0.01137	0.00635	0.00557	0.00512
	Err. Sint.	0.03326	0.03348	0.0331	0.03315	0.03329	0.03331	0.0332	0.03341	0.03324
	% Identif.	22.12%	88.56%	84.51%	53.70%	80.75%	65.86%	80.86%	83.33%	84.61%
A	Err. Optim.	0.0251	0.00279	0.00762	0.0275	0.00629	0.00836	0.01122	0.00897	0.00752
	Err. Sint.	0.03518	0.03514	0.03526	0.03506	0.03527	0.03509	0.03544	0.03574	0.03508
	% Identif.	28.65%	92.05%	78.38%	21.55%	82.17%	76.18%	68.34%	74.91%	78.57%
C	Err. Optim.	0.02636	0.00384	0.00496	0.02905	0.00469	0.0095	0.01143	0.01209	0.00849
	Err. Sint.	0.0318	0.03178	0.03154	0.03186	0.03163	0.03201	0.03176	0.0318	0.0318
	% Identif.	17.13%	87.93%	84.28%	8.83%	85.19%	70.32%	64.01%	61.99%	73.32%

Tabla 5.16: Simulaciones del grupo 4 en las que se han introducido PDGE, PIGE y el ruido de medición del TSB. Las unidades de los errores están en mm.

Una vez más, se vuelve a observar que la estrategia más robusta es la de no identificar los PIGE y sí hacerlo en dos fases con los PDGE. Pese a todo, todas las estrategias parecen dar unos resultados bastante satisfactorios al identificar los PDGE en dos fases.

5.2. Ejemplo de simulación completa

Visto que en los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones del apartado anterior la mejor opción, o al menos la que se ha considerado como más robusta y constante en cuanto a resultados, otorgando siempre valores entre el 80 y 90 %, se ha optado por utilizar la opción de identificar únicamente los PDGE y hacerlo en dos fases, donde primero se identificarán los PDGE de orientación y posteriormente los de posición.

Los datos introducidos en la interfaz de usuario se muestran en las figuras 5.9, 5.10, 5.11 y 5.12.

The image shows a software interface with a tabbed menu at the top containing 'General', 'Máquina', 'Mallado', and 'Algoritmo'. The 'General' tab is active. The interface includes several input fields and checkboxes on the left, and four buttons on the right.

Inputs and Checkboxes:

- Nombre General: TFM
- Directorio General: (empty)
- Criterio Perpend: Positivo con apertura (dropdown)
- Tiempo por punto: 10.0 (segundos o milisegundos)
- Velocidad de avance: 1000 mm/min
- Distancia de aproximación en ensayos de traslación: 1 mm
- Distancia de aproximación en ensayos de rotación: 1 °
- Resolución máxima de los ejes:
 - Ejes de traslación: 3 decimales
 - Ejes de rotación: 3 decimales
- ☒ Ruido de medición
- ☒ Contraplato
- Diámetro: 230 mm
- Altura: 16.55 mm

Buttons:

- Cargar Preferencias
- Guardar Preferencias
- Cerrar
- Calcular

Figura 5.9: Datos introducidos en la pestaña *General* de la interfaz de usuario.

General

Máquina

Mallado

Algoritmo

Tipo de Máquina Herramienta:

HAAS VF3 TRT160

Recorrido de los ejes:

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	A (°)	B (°)	C (°)
Inicio	-400	-220	300	-120	0	-180
Final	200	250	500	120	0	180

Decalaje de la esfera sobre el centro del plato:

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Ensayo de traslación con soporte	50	0	80
Ensayo de traslación sin soporte	50	0	60
Ensayos de rotación con soporte	50	0	80
Ensayos de rotación sin soporte	50	0	60

Posición del Dispositivo de Medición (HPTI):

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	A (°)	B (°)	C (°)
1	0	0	-65	180	0	90

Offsets de los ejes YXABC (mov. pieza):

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	A (°)	B (°)	C (°)
Eje Y _{ab} (SR O)	0	0	0	0	0	0
Eje X _{ab} (SR Y)	0	0	0	0	0	0
Eje A _{ab} (SR X)	0	0	0	0	0	90
Eje B _{ab} (SR A)	0	0	0	-90	0	0
Eje C _{ab} (SR B)	3	0	0	90	0	-90

Offsets del eje Z (mov. herramienta):

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	A (°)	B (°)	C (°)
Eje Z _{ab} (SR O)	0	0	0	0	0	0

Cargar Preferencias

Guardar Preferencias

Cerrar

Calcular

Figura 5.10: Datos introducidos en la pestaña *Máquina* de la interfaz de usuario.

General

Máquina

Mallado

Algoritmo

Tipo:

Nube

Eje Principal XYZ:

X

Eje Secundario XYZ:

Y

Eje Principal ABC:

C

Eje Secundario ABC:

A

Paso de medición:

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	A (°)	B (°)	C (°)
Ensayo XYZ	50	50	20	0	0	0
Ensayo ABC	0	0	0	20	0	45
Ensayo A	0	0	0	5	0	0
Ensayo C	0	0	0	0	0	10

Malla de exploración en ensayos de traslación:

Paso inicial:

40

mm

Paso límite:

10

mm

☒ Margen de seguridad

5

mm

Paso de exploración en los ejes de rotación:

Paso eje A:

2

°

Paso eje C:

2

°

Coordenadas fijas de los ejes XYZ en los ensayos de rotación:

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	0	0	500

Selección de coordenadas [X Y] del punto pivote en ensayos de traslación:

Automático

Cargar Preferencias

Guardar Preferencias

Cerrar

Calcular

Figura 5.11: Datos introducidos en la pestaña *Mallado* de la interfaz de usuario.

Figura 5.12: Datos introducidos en la pestaña *Algoritmo* de la interfaz de usuario.

El tiempo que le ha llevado al programa ejecutarse desde la generación de datos (que genera los archivos correspondientes a los puntos y trayectorias de los ensayos), hasta la compensación de errores, ha sido de aproximadamente seis minutos y medio. Este tiempo es adecuado para realizar la parte de cálculo asociada a la verificación de la máquina durante la ejecución de los ensayos físicos.

Respecto al número de puntos a medir en cada ensayo, el programa muestra que son los siguientes:

- El número de puntos del ensayo XYZ 1 es: 26
- El número de puntos del ensayo XYZ 2 es: 58
- El número de puntos del ensayo ABC 1 es: 58
- El número de puntos del ensayo ABC 2 es: 55
- El número de puntos del ensayo A 1 es: 27
- El número de puntos del ensayo A 2 es: 23
- El número de puntos del ensayo C 1 es: 37
- El número de puntos del ensayo C 2 es: 37

Los errores introducidos para la generación de ensayos son los mismos que los utilizados para el grupo 1 (apartado 5.1.1), donde los errores introducidos se muestran en las figuras 5.1 y 5.2.

Los archivos generados durante el ensayo se encuentran en el anexo B.

La tabla ?? muestra el resumen tras la identificación y compensación de errores. En ella se tiene en cuenta el error volumétrico del ensayo (primera fila), el error que se ha calculado que tiene la máquina con los EG identificados, mostrando error de posicionamiento y de orientación, y los errores tras aplicar la compensación de errores.

Tabla 5.17: Resumen de los errores

Tipo de ensayo		XYZ_1	XYZ_2	ABC_1	ABC_2	A_1	A_2	C_1	C_2
e _{ident}	e _{ensayo} (mm)	$1,50 \times 10^{-2}$	$1,44 \times 10^{-2}$	$1,25 \times 10^{-2}$	$1,21 \times 10^{-2}$	$1,27 \times 10^{-2}$	$1,26 \times 10^{-2}$	$1,21 \times 10^{-2}$	$1,25 \times 10^{-2}$
	e _{pos} (mm)	$1,48 \times 10^{-2}$	$1,42 \times 10^{-2}$	$1,21 \times 10^{-2}$	$1,21 \times 10^{-2}$	$1,27 \times 10^{-2}$	$1,32 \times 10^{-2}$	$1,23 \times 10^{-2}$	$1,23 \times 10^{-2}$
	e _{ori} (rad)	$7,00 \times 10^{-6}$	$7,00 \times 10^{-6}$	$1,29 \times 10^{-4}$	$1,23 \times 10^{-4}$	$2,80 \times 10^{-5}$	$2,40 \times 10^{-5}$	$9,00 \times 10^{-5}$	$9,00 \times 10^{-5}$
	e _{ori} (arcseg)	1,51	1,49	26,7	25,4	5,70	4,94	18,6	18,6
e _{comp}	e _{pos} (mm)	$4,74 \times 10^{-4}$	$4,90 \times 10^{-4}$	$4,81 \times 10^{-4}$	$6,63 \times 10^{-4}$	$9,33 \times 10^{-4}$	$5,02 \times 10^{-4}$	$4,51 \times 10^{-4}$	$4,72 \times 10^{-4}$
	e _{ori} (rad)	$8,00 \times 10^{-6}$	$7,00 \times 10^{-6}$	$3,10 \times 10^{-5}$	$2,40 \times 10^{-5}$	$2,10 \times 10^{-5}$	$1,80 \times 10^{-5}$	$1,50 \times 10^{-5}$	$1,50 \times 10^{-5}$
	e _{ori} (arcseg)	1,58	1,50	6,43	4,99	4,24	3,67	3,13	3,14

Como se observa en la tabla anterior, la identificación de errores parece ser bastante precisa, tal como se anticipó en el apartado anterior. Esto puede apreciarse en que las dos primeras filas de la tabla presentan valores muy similares.

En cuanto a la compensación de errores, esta se ha llevado a cabo considerando los EG identificados de la máquina. Será necesario realizar una evaluación experimental para verificar que estos resultados se reproduzcan de manera equivalente en condiciones físicas reales. La compensación permite reducir el error de posicionamiento de la máquina en dos órdenes de magnitud, así como disminuir entre 4 y 6 veces el error de orientación en los casos donde este es significativo, como ocurre en los ensayos *ABC* y *C*.

6 Conclusiones y trabajo futuro

En este trabajo se ha desarrollado un software que facilita la planificación, simulación y optimización de la verificación volumétrica de MH de cinco ejes, ofreciendo distintas estrategias para abordar los desafíos comunes en la identificación y compensación de EG. Las principales conclusiones y contribuciones de este desarrollo son las siguientes:

- El algoritmo de exploración desarrollado permite evaluar de forma rápida y eficiente el entorno de verificación en el que se realizarán los ensayos de captura de datos. Este entorno seguro está libre de colisiones y respeta los límites de movimiento establecidos tanto de la máquina como del TSB.
- La automatización del diseño de ensayos, junto con el cálculo del posicionamiento de la esfera de verificación, proporciona una base sólida que puede implementarse de forma segura en un entorno físico, maximizando el volumen de trabajo verificable con los equipos disponibles.
- La simulación de ensayos ha permitido evaluar la robustez de los algoritmos de identificación y compensación de EG. Los resultados obtenidos son satisfactorios, logrando identificar y reducir entre un 80 % y un 90 % de los EG. En los casos menos eficientes, las estrategias alcanzaron una identificación cercana al 70 %.
- El software desarrollado, tras demostrar un alto rendimiento con datos sintéticos, está preparado para aplicarse a la verificación de MH de cinco ejes. Para ello, será necesario sustituir los archivos generados en la función encargada de simular las mediciones por medidas físicas obtenidas en ensayos experimentales. Los puntos de medición a evaluar son generados automáticamente por el propio software.
- La simulación completa de los ocho ensayos tiene una duración aproximada de 6–8 minutos, dependiendo de los parámetros de convergencia y los límites de exploración establecidos. Esto hace que la herramienta sea viable para una verificación rápida y eficaz. Además, la generación automática de G-code dentro del software elimina la necesidad de postprocesadores, agilizando así el proceso.

Como líneas futuras, se propone llevar a cabo los ensayos de verificación planteados en este trabajo para realizar una verificación experimental de la máquina empleando

el TSB desarrollado por la Universidad de Zaragoza. Este enfoque tiene como objetivo reducir las desviaciones de la máquina utilizando un instrumento de medición innovador, cuyo uso para la optimización de ejes rotativos no ha sido estudiado previamente.

Además, con ligeras modificaciones, el software desarrollado podría aplicarse a sistemas diferentes a las MH, como robots industriales u otros sistemas productivos. También podría adaptarse para la estimación de incertidumbres asociadas a dichos sistemas, ampliando aún más su aplicabilidad.

7 Bibliografía

- [1] J. J. Aguilar, R. Acero, F. J. Brosed, and J. Santolaria, “Development of a high precision telescopic instrument based on simultaneous laser multilateration for machine tool volumetric verification,” *Sensors*, vol. 20, no. 13, p. 3798, 2020.
- [2] R. Hocken, J. A. Simpson, B. Borchardt, J. Lazar, C. Reeve, and P. Stein, “Three dimensional metrology,” *Annals of the CIRP*, vol. 26, no. 2, pp. 403–408, 1977.
- [3] K. Busch, H. Kunzmann, and F. Wäldele, “Calibration of coordinate measuring machines,” *Precision Engineering*, vol. 7, no. 3, pp. 139–144, 1985.
- [4] G. Zhang, R. Veale, T. Charlton, B. Borchardt, and R. Hocken, “Error compensation of coordinate measuring machines,” *CIRP Annals*, vol. 34, no. 1, pp. 445–448, 1985.
- [5] M. Grieves, “Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication,” white paper, Michael Grieves, LLC, Melbourne, FL, USA, 2014.
- [6] M. Javaid, A. Haleem, and R. Suman, “Digital twin applications toward industry 4.0: A review,” *Cognitive Robotics*, vol. 3, pp. 71–92, 2023.
- [7] N. Irino, A. Kobayashi, Y. Shinba, K. Kawai, D. Spescha, and K. Wegener, “Digital twin based accuracy compensation,” *CIRP Annals*, vol. 72, no. 1, pp. 345–348, 2023.
- [8] D. Lyu, J. Liu, S. Luo, S. Liu, Q. Cheng, and H. Liu, “Digital twin modelling method of five-axis machine tool for predicting continuous trajectory contour error,” *Processes*, vol. 10, no. 12, p. 2725, 2022.
- [9] Z. Zhang, F. Jiang, L. U. O. Ming, W. U. Baohai, D. Zhang, and T. A. N. G. Kai, “Geometric error measuring, modeling, and compensation for cnc machine tools: a review,” *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 37, no. 2, pp. 163–198, 2024.
- [10] W. Gao, S. Ibaraki, M. A. Donmez, D. Kono, J. R. R. Mayer, Y. L. Chen, K. Szipka, A. Archenti, J. M. Linares, and N. Suzuki, “Machine tool calibration: Measurement, modeling, and compensation of machine tool errors,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 187, p. 104017, 2023.

- [11] H. Schwenke, W. Knapp, H. Haitjema, A. Weckenmann, R. Schmitt, and F. Delbressine, “Geometric error measurement and compensation of machines—an update,” *CIRP Annals*, vol. 57, no. 2, pp. 660–675, 2008.
- [12] UNE-ISO 230-1:2014, *Código de verificación de máquinas-herramienta – Parte 1: Precisión geométrica de las máquinas funcionando en vacío o en condiciones cuasi-estáticas*, AENOR, 2014.
- [13] K. Xu, G. Li, K. He, and X. Tao, “Identification of position-dependent geometric errors with non-integer exponents for linear axis using double ball bar,” *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 170, p. 105326, 2020.
- [14] S. Aguado, D. Samper, J. Santolaria, and J. J. Aguilar, “Identification strategy of error parameter in volumetric error compensation of machine tool based on laser tracker measurements,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 53, no. 1, pp. 160–169, 2012.
- [15] Y. Xiao, G. Ge, M. Deng, J. Lv, and Z. Du, “An unconstrained and non-redundant identification method of geometric errors and compensation of machine tools by x-ax laserbar,” *Manufacturing Letters*, vol. 41, pp. 31–42, 2024.
- [16] R. Acero, J. J. Aguilar, F. J. Brosed, J. Santolaria, S. Aguado, and M. Pueo, “Design of a multi-point kinematic coupling for a high precision telescopic simultaneous measurement system,” *Sensors*, vol. 21, no. 19, p. 6365, 2021.
- [17] S. Osei, W. Wang, and Q. Ding, “A new method to identify the position-independent geometric errors in the rotary axes of five-axis machine tools,” *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 87, pp. 46–53, 2023.
- [18] R. Ramesh, M. A. Mannan, and A. N. Poo, “Error compensation in machine tools—a review: Part ii: thermal errors,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 40, no. 9, pp. 1257–1284, 2000.
- [19] A. H. Slocum, *Precision Machine Design*. Prentice Hall, 1992.
- [20] ISO 841:2001, *Industrial automation systems and integration — Numerical control of machines — Coordinate system and motion nomenclature*, ISO, 2001.
- [21] UNE-ISO 230-7:2008, *Código de verificación de máquinas-herramienta – Parte 7: Precisión geométrica de los ejes de rotación*, AENOR, 2008.

- [22] E. L. Bohez, “Five-axis milling machine tool kinematic chain design and analysis,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 42, no. 4, pp. 505–520, 2002.
- [23] Haas Automation Inc., “Herramientas para máquinas CNC.”
<https://www.haascnc.com/es.html>. Accedido: 22-Nov-2024.
- [24] F. J. Brosed, J. J. Aguilar, R. Acero, J. Santolaria, S. Aguado, and M. Pueo, “Calibration and uncertainty budget analysis of a high precision telescopic instrument for simultaneous laser multilateration,” *Measurement*, vol. 190, p. 110735, 2022.
- [25] S. Aguado, F. Brosed, R. Acero, J. Aguilar, J. Santolaria, and M. Pueo, “Influence of high precision telescopic instrument characterization on multilateration points accuracy,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1193, p. 012061, IOP Publishing, 2021.
- [26] MathWorks, “Mathworks - creador de matlab y simulink.”
<https://es.mathworks.com/>. Accedido: 22-Nov-2024.
- [27] J. J. Craig, *Introduction to robotics*. Pearson Educacion, 2006.
- [28] M. Hahsler and K. Hornik, “Tsp—infrastructure for the traveling salesperson problem,” *Journal of Statistical Software*, vol. 23, pp. 1–21, 2008.
- [29] A. Ranganathan, “The levenberg-marquardt algorithm,” *Tutorial on LM algorithm*, vol. 11, no. 1, pp. 101–110, 2004.

Lista de Figuras

2.1. Fuentes de error de una MH	9
2.2. Errores del movimiento angular y lineal de un componente programado para moverse a lo largo de una línea recta (nominal) paralela al eje X . [12]	12
2.3. Perpendicularidad entre los movimientos lineales de los ejes X y Z . [12]	13
2.4. Errores de movimiento de los ejes de rotación. [21]	14
2.5. Error de centrado de la línea media del eje. [21]	14
3.1. Fresadora CNC HAAS de 5 ejes del taller del departamento de fabricación.	16
3.2. Modelo CAD de la Haas VF-3	17
3.3. Modelo CAD del TR160	18
3.4. Opciones de posicionamiento del TSB en la MH. [1]	20
3.5. TSB montado en la VF-3 con TR160.	20
4.1. Configuración de los sistemas asociados a la máquina - YXABCFZ . . .	29
4.2. Esquema de los PIGE del eje de rotación C de la máquina.	32
4.3. Esquema cinemático del modelo.	36
4.4. Esquema de la geometría introducida en el modelo digital.	39
4.5. Vista de los componentes ensamblados.	39
4.6. Vista de los 3 mm de decalaje entre el eje de giro A y el plato del <i>trunnion</i> .	39
4.7. Dimensiones restrictivas del conjunto Mesa + Soporte TR160.	40
4.8. Esquema de los parámetros necesarios para dimensionar el conjunto Mesa + Soporte TR160 en el modelo.	40
4.9. Dimensiones restrictivas de la cuna del TR160.	41
4.10. Esquema de los parámetros necesarios para dimensionar la cuna del TR160 en el modelo.	41
4.11. Dimensiones y parámetros del cabezal de la herramienta.	42
4.12. Dimensiones y parámetros del carrusel de herramientas.	43
4.13. Dimensiones del plato y contraplato del TR160.	44
4.14. Dimensiones del TSB y su representación en el modelo.	45
4.15. Punto de referencia del cabezal a partir del cual ha de medirse el decalaje del TSB.	46
4.16. Esquemas de los ejes de activos en cada tipo de ensayo.	49

4.17. Tipos de distribución de puntos de medición en los ensayos.	51
4.18. Ejemplo del mallado adaptativo de exploración en ensayo <i>XYZ</i>	53
4.19. Superficies que delimitan la frontera de exploración en los ensayos <i>XYZ</i>	54
4.20. Ejemplos de puntos de exploración utilizados y descartados para los ensayos tipo <i>ABC</i>	55
4.21. Cotas de los agujeros del contraplato utilizadas para el análisis del posicionamiento de la esfera de medición en los ensayos.	57
4.22. Análisis de puntos de medición viables modificando el posicionamiento de la esfera de medición para ensayos en los que interviene más de un eje de movimiento.	58
4.23. Análisis de los ángulos límite del eje <i>A</i> en los ensayos <i>ABC</i> en función del posicionamiento de la esfera de medición.	58
4.24. Ejemplo de trayectoria (vista en planta) que supera los límites de medición y trayectoria alternativa propuesta.	61
4.25. Esquema del procedimiento de identificación de los PDGE mediante LM.	66
4.26. Esquema del procedimiento de identificación de los PIGE mediante LM.	67
4.27. Esquema del procedimiento de compensación de EG mediante QN.	70
4.28. Diagrama de flujo que sigue el programa en MATLAB.	71
4.29. Pestaña <i>General</i> de la GUI.	75
4.30. Pestaña <i>Máquina</i> de la GUI.	77
4.31. Pestaña <i>Mallado</i> de la GUI.	78
4.32. Pestaña <i>Algoritmo</i> de la GUI.	79
5.1. Funciones de error de los ejes <i>X Y Z</i> para el grupo 1 de simulaciones.	84
5.2. Funciones de error de los ejes <i>A B C</i> para el grupo 1 de simulaciones.	84
5.3. Funciones de error de los ejes <i>X Y Z</i> para el grupo 2 de simulaciones.	89
5.4. Funciones de error de los ejes <i>A B C</i> para el grupo 2 de simulaciones.	89
5.5. Funciones de error de los ejes <i>X Y Z</i> para el grupo 3 de simulaciones.	92
5.6. Funciones de error de los ejes <i>A B C</i> para el grupo 3 de simulaciones.	93
5.7. Funciones de error de los ejes <i>X Y Z</i> para el grupo 4 de simulaciones.	96
5.8. Funciones de error de los ejes <i>A B C</i> para el grupo 4 de simulaciones.	96
5.9. Datos introducidos en la pestaña <i>General</i> de la interfaz de usuario.	99
5.10. Datos introducidos en la pestaña <i>Máquina</i> de la interfaz de usuario.	100
5.11. Datos introducidos en la pestaña <i>Mallado</i> de la interfaz de usuario.	100
5.12. Datos introducidos en la pestaña <i>Algoritmo</i> de la interfaz de usuario.	101

Lista de Tablas

1.	Acrónimos empleados en la memoria.	IX
3.1.	Especificaciones técnicas del modelo Haas VF-3.	17
3.2.	Especificaciones técnicas del modelo TR160.	18
4.1.	Nomenclatura de los PDGE de la MH.	31
4.2.	Nomenclatura de los PIGE de la MH.	33
4.3.	Dimensiones del conjunto Mesa + Soporte TR160 introducidas en el modelo.	41
4.4.	Dimensiones de la cuna del TR160 introducidas en el modelo.	42
4.5.	Dimensiones del cabezal introducidas en el modelo.	43
4.6.	Dimensiones del carrusel introducidas en el modelo.	43
4.7.	Dimensiones del plato y del contraplato introducidas en el modelo. . . .	44
4.8.	Dimensiones del TSB introducidas en el modelo.	45
4.9.	Límites de recorrido de los ejes de la máquina.	50
4.10.	Paso de medición empleado para el análisis del posicionamiento de la esfera.	57
5.1.	Simulaciones del grupo 1 en las que solo se han introducido PDGE. Las unidades de los errores son en mm.	86
5.2.	Simulaciones del grupo 1 en las que solo se han introducido PIGE. Las unidades de los errores son en mm.	87
5.3.	Simulaciones del grupo 1 en las que se han introducido PDGE y PIGE. Las unidades de los errores están en mm.	87
5.4.	Simulaciones del grupo 1 en las que se han introducido PDGE, PIGE y el ruido de medición del TSB. Las unidades de los errores están en mm. .	88
5.5.	Simulaciones del grupo 2 en las que solo se han introducido PDGE. Las unidades de los errores son en mm.	90
5.6.	Simulaciones del grupo 2 en las que solo se han introducido PIGE. Las unidades de los errores son en mm.	90
5.7.	Simulaciones del grupo 2 en las que se han introducido PDGE y PIGE. Las unidades de los errores están en mm.	91
5.8.	Simulaciones del grupo 2 en las que se han introducido PDGE, PIGE y el ruido de medición del TSB. Las unidades de los errores están en mm. .	91

5.9. Simulaciones del grupo 3 en las que solo se han introducido PDGE. Las unidades de los errores son en mm.	93
5.10. Simulaciones del grupo 3 en las que solo se han introducido PIGE. Las unidades de los errores son en mm.	94
5.11. Simulaciones del grupo 3 en las que se han introducido PDGE y PIGE. Las unidades de los errores están en mm.	94
5.12. Simulaciones del grupo 3 en las que se han introducido PDGE, PIGE y el ruido de medición del TSB. Las unidades de los errores están en mm.	95
5.13. Simulaciones del grupo 4 en las que solo se han introducido PDGE. Las unidades de los errores son en mm.	97
5.14. Simulaciones del grupo 4 en las que solo se han introducido PIGE. Las unidades de los errores son en mm.	97
5.15. Simulaciones del grupo 4 en las que se han introducido PDGE y PIGE. Las unidades de los errores están en mm.	98
5.16. Simulaciones del grupo 4 en las que se han introducido PDGE, PIGE y el ruido de medición del TSB. Las unidades de los errores están en mm.	98
5.17. Resumen de los errores	102

Anexos

A Estructura de los archivos de texto

En este anexo se indican la estructura seguida para los archivos de texto cuya interpretación no es tan intuitiva.

Listado A.1: Estructura del archivo Grupo_polinomio_XYZ.txt

[Fila 1]	[Sxy Sxz Syz]	// Errores de perpendicularidad
[Fila 2]	Polinomio Yxx	// Error de posicion eje X
[Fila 3]	Polinomio Yyy	// Error de posicion eje Y
[Fila 4]	Polinomio Yzz	// Error de posicion eje Z
[Fila 5]	Polinomio Yxy	// Error de rectitud en X del eje Y
[Fila 6]	Polinomio Yxz	// Error de rectitud en X del eje Z
[Fila 7]	Polinomio Yyx	// Error de rectitud en Y del eje X
[Fila 8]	Polinomio Yyz	// Error de rectitud en Y del eje Z
[Fila 9]	Polinomio Yzx	// Error de rectitud en Z del eje X
[Fila 10]	Polinomio Yzy	// Error de rectitud en Z del eje Y
[Fila 11]	Polinomio Exx	// Error de balanceo eje X
[Fila 12]	Polinomio Eyy	// Error de balanceo eje Y
[Fila 13]	Polinomio Ezz	// Error de balanceo eje Z
[Fila 14]	Polinomio Exy	// Error de cabeceo eje Y
[Fila 15]	Polinomio Exz	// Error de cabeceo eje Z
[Fila 16]	Polinomio Eyx	// Error de cabeceo eje X
[Fila 17]	Polinomio Eyz	// Error de guinada eje Z
[Fila 18]	Polinomio Ezx	// Error de guinada eje X
[Fila 19]	Polinomio Ezy	// Error de guinada eje Y

Listado A.2: Estructura del archivo Grupo_coefsFourier_ABC.txt

[Fila 1]	[xPya zPxa	xPyb yPzb	xPyc zPxc]	// Errores de paralelismo de los ejes A, B y C con su respecti
[Fila 2]	[yTa zTa	xTb zTb	yTc zTc]	// Errores de posicionamiento de los ejes A, B y C con su resp
[Fila 3]	Coeficientes de Fourier de Yza		// Error axial del eje A	
[Fila 4]	Coeficientes de Fourier de Yzb		// Error axial del eje B	
[Fila 5]	Coeficientes de Fourier de Yzc		// Error axial del eje C	
[Fila 6]	Coeficientes de Fourier de Yxa		// Error radial en direccion X del eje A	
[Fila 7]	Coeficientes de Fourier de Yxb		// Error radial en direccion X del eje B	
[Fila 8]	Coeficientes de Fourier de Yxc		// Error radial en direccion X del eje C	
[Fila 9]	Coeficientes de Fourier de Yya		// Error radial en direccion Y del eje A	
[Fila 10]	Coeficientes de Fourier de Yyb		// Error radial en direccion Y del eje B	
[Fila 11]	Coeficientes de Fourier de Yyc		// Error radial en direccion Y del eje C	
[Fila 12]	Coeficientes de Fourier de Eza		// Error de posicionamiento angular del eje A	
[Fila 13]	Coeficientes de Fourier de Ezb		// Error de posicionamiento angular del eje B	
[Fila 14]	Coeficientes de Fourier de Ezc		// Error de posicionamiento angular del eje C	
[Fila 15]	Coeficientes de Fourier de Exa		// Error pendular entorno al eje X del eje A	
[Fila 16]	Coeficientes de Fourier de Exb		// Error pendular entorno al eje X del eje B	
[Fila 17]	Coeficientes de Fourier de Exc		// Error pendular entorno al eje X del eje C	
[Fila 18]	Coeficientes de Fourier de Eya		// Error pendular entorno al eje Y del eje A	
[Fila 19]	Coeficientes de Fourier de Eyb		// Error pendular entorno al eje Y del eje B	
[Fila 20]	Coeficientes de Fourier de Eyc		// Error pendular entorno al eje Y del eje C	

Listado A.3: Estructura del archivo [nombre_general]_[distribución]_[tipo_ensayo]_[pos_esfera].txt

[Fila 1]	Posicion del Dispositivo de Medicion [X Y Z AngX AngY AngZ]	
[Fila 2]	Posicion de la esfera [X Y Z 0 0 0]	
[Fila 3:21]	Conjunto de polinomios de error XYZ	// Igual que 'Grupo_polinomio_XYZ.txt'
[Fila 22:41]	Conjunto de polinomios de error ABC	// Igual que 'Grupo_coefsFourier_ABC.txt'
[Fila 42:42+(n-1)]	Coordenadas de los puntos en el sistema de referencia DM	// n - Numero de puntos a medir du

B Archivos generados durante el ejemplo de simulación

En este anexo se adjuntan los archivos que se han generado durante la simulación del ensayo ejemplo del apartado 5.2.

Grupo_coefsFourier_ABC.txt

-7.8549493e-06	-1.2440839e-05	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-8.4801682e-06	1.5544839e-05
-3.5696300e-03	7.9231984e-03	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-3.4608906e-03	4.9648674e-04
-8.0166696e-05	-1.1810259e-04	-3.5085005e-05	8.2595164e-05	NaN	NaN
0.0000000e+00	-0.0000000e+00	-0.0000000e+00	0.0000000e+00	NaN	NaN
1.6524190e-05	2.3790331e-05	-1.0452509e-04	-8.7017409e-06	NaN	NaN
9.5940867e-06	-4.3001367e-04	-1.1474721e-05	-3.0115863e-04	NaN	NaN
0.0000000e+00	-0.0000000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00	NaN	NaN
4.4776538e-04	1.1424280e-03	3.3413691e-05	7.4729472e-04	NaN	NaN
-5.3623212e-04	9.1167232e-04	-6.0421458e-04	-3.2695798e-05	NaN	NaN
-0.0000000e+00	-0.0000000e+00	-0.0000000e+00	0.0000000e+00	NaN	NaN
-6.9460177e-04	-6.7034130e-04	5.6443601e-04	8.4806477e-07	NaN	NaN
1.1390517e-05	-2.7039949e-05	-5.9038303e-06	9.2082453e-06	NaN	NaN
0.0000000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00	-0.0000000e+00	NaN	NaN
2.4966451e-05	2.8442733e-05	-5.9212127e-05	-1.1756360e-05	NaN	NaN
-2.0301337e-06	-4.8062965e-08	1.5455244e-06	1.3344890e-06	NaN	NaN
0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	NaN	NaN
1.2859893e-06	-3.9738208e-06	3.2946456e-07	-4.9641656e-06	NaN	NaN
3.3320165e-06	-6.3235852e-06	-1.6495108e-06	2.8278223e-07	NaN	NaN
-0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00	NaN	NaN
1.7610498e-06	-3.6201267e-06	1.6359916e-06	7.5279115e-07	NaN	NaN

Grupo_polinomio_XYZ.txt

2.0264436e-05	-1.7390350e-05	-1.5893610e-05
0.0000000e+00	1.4349784e-05	0.0000000e+00
0.0000000e+00	1.2334012e-05	0.0000000e+00
0.0000000e+00	-7.5764454e-06	0.0000000e+00
7.3857814e-09	-1.1143612e-05	0.0000000e+00
-1.7058691e-08	6.6116235e-06	0.0000000e+00
-1.7296420e-08	-2.1380735e-05	0.0000000e+00
-6.0047665e-10	1.3856907e-05	0.0000000e+00
1.2178159e-08	-1.4950508e-05	0.0000000e+00
3.7283100e-10	8.0287087e-06	0.0000000e+00
9.7385359e-12	3.1214677e-08	0.0000000e+00
1.5862495e-11	1.7125956e-08	0.0000000e+00
-1.4244830e-11	7.9404675e-10	0.0000000e+00
-1.3799116e-11	2.4661418e-08	0.0000000e+00
1.7420764e-11	-4.0029902e-08	0.0000000e+00
8.3549699e-12	-6.8563665e-09	0.0000000e+00
-4.7796210e-12	-1.7782028e-08	0.0000000e+00
1.2634291e-11	7.6640233e-09	0.0000000e+00
-1.1886736e-12	8.3449433e-09	0.0000000e+00

[illegible]

7.5520056291403264e+01	4.9999999999999943e+01	4.2678837443306634e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.9980354850617729e+01	4.9999999999999943e+01	4.1991656875637733e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.6636399453097738e+01	4.9999999999999943e+01	4.1634032616645743e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.0466080559087857e+01	4.9999999999999943e+01	4.1061753995678004e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
5.3147315056895941e+01	4.9999999999999950e+01	4.0501321280737170e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.4906288881521199e+01	4.9999999999999950e+01	3.9993278535925953e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.8653353881772794e+01	4.9999999999999950e+01	3.9680891634865509e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.3412494914102425e+01	4.9999999999999950e+01	3.9462032453931249e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.1826112437078699e+01	4.9999999999999950e+01	3.9103174555987130e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.4124625681194889e+01	4.9999999999999950e+01	3.8952244894372404e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.0218579527907044e+01	4.9999999999999950e+01	3.8900976861824768e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.0411949865056172e-02	4.9999999999999950e+01	3.8845001950616819e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.2791581524843272e+00	4.9999999999999950e+01	3.8859907393820413e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.3258896009302456e+01	4.9999999999999950e+01	3.8939436206896198e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.5476530275934753e+01	4.9999999999999950e+01	3.9198584052995119e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.8700380021346010e+01	4.9999999999999950e+01	3.9296129669278463e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.7314953713451573e+01	4.9999999999999950e+01	3.9621423935545619e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.9232866106804956e+01	4.9999999999999950e+01	4.0245298626026607e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.4296843574834767e+01	4.9999999999999950e+01	4.0581958730874499e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.1234957935816965e+01	4.9999999999999957e+01	4.1127601236780600e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.8778935554295401e+01	4.9999999999999957e+01	4.1858816731856678e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.3240428127035656e+01	4.9999999999999957e+01	4.2379826301759954e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.7788517486528235e+01	4.9999999999999957e+01	4.3003319283188461e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.2207107419371738e+01	4.9999999999999950e+01	4.3735031926497260e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.3988199710705587e+01	4.9999999999999950e+01	4.4079824264239892e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

TFM_ensayo_A_1.txt

0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-6.5000000000000000e+01	1.8000000000000000e+02	0.0000000000000000e+00	9.0000000000000000e+01
5.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	8.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.0264436000000000e-05	-1.7390349999999999e-05	-1.5893610000000000e-05	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.4349784000000001e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.2334012000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-7.5764454000000004e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
7.3857813999999997e-09	-1.1143612000000001e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.7058691000000002e-08	6.6116234999999996e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.7296420000000000e-08	-2.1380734999999999e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-6.0047665000000005e-10	1.3856907000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.2178158999999999e-08	-1.4950508000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
3.7283100000000000e-10	8.0287086999999997e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
9.7385358999999999e-12	3.1214676999999998e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.5862495000000000e-11	1.7125956000000000e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN

-1.4244830000000000e-11	7.9404674999999996e-10	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.3799116000000000e-11	2.4661417999999999e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.7420764000000001e-11	-4.0029901999999997e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
8.3549699000000002e-12	-6.8563664999999997e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-4.7796210000000004e-12	-1.7782027999999999e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.2634291000000000e-11	7.6640233000000008e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.1886736000000001e-12	8.3449432999999997e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-7.8549493000000005e-06	-1.2440839000000000e-05	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-8.4801681999999996e-06	1.5544839000000001e-05
-3.5696299999999999e-03	7.9231983999999995e-03	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-3.4608906000000001e-03	4.9648673999999995e-04
-8.0166696000000002e-05	-1.1810259000000000e-04	-3.5085005000000001e-05	8.2595164000000000e-05	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.6524189999999999e-05	2.3790331000000000e-05	-1.0452509000000000e-04	-8.7017409000000006e-06	NaN	NaN
9.5940866999999998e-06	-4.3001367000000001e-04	-1.1474721000000000e-05	-3.0115863000000002e-04	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
4.4776537999999998e-04	1.1424280000000000e-03	3.3413690999999997e-05	7.4729471999999996e-04	NaN	NaN
-5.3623212000000005e-04	9.1167232000000000e-04	-6.0421458000000001e-04	-3.2695798000000001e-05	NaN	NaN
-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
-6.9460177000000005e-04	-6.7034129999999996e-04	5.6443601000000004e-04	8.4806476999999998e-07	NaN	NaN
1.1390517000000000e-05	-2.7039948999999999e-05	-5.9038303000000003e-06	9.2082453000000006e-06	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
2.4966451000000002e-05	2.8442733000000002e-05	-5.9212127000000002e-05	-1.1756360000000000e-05	NaN	NaN
-2.0301337000000001e-06	-4.8062964999999997e-08	1.5455244000000001e-06	1.3344890000000000e-06	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.2859893000000000e-06	-3.9738208000000000e-06	3.2946456000000001e-07	-4.9641656000000004e-06	NaN	NaN
3.3320165000000002e-06	-6.3235852000000004e-06	-1.6495108000000000e-06	2.8278222999999998e-07	NaN	NaN
-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.7610498000000000e-06	-3.6201267000000002e-06	1.6359915999999999e-06	7.5279115000000000e-07	NaN	NaN
8.3002955734690261e+01	5.0003686421478371e+01	4.3883249004516773e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
8.1751107225287257e+01	4.9997979644489888e+01	4.3650841770777771e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
7.5516861559798201e+01	5.0000831035514594e+01	4.2677764133430338e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.9975328203366672e+01	5.0002048819611289e+01	4.1990229999354415e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.6634463616688194e+01	5.0000100303463391e+01	4.1632776706073071e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.0460127088550820e+01	4.9998343581033275e+01	4.1060611319133011e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
5.3145629293988814e+01	4.9994934296146809e+01	4.0500163653810711e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.4903702080973197e+01	5.0001205602465767e+01	3.9991938916160240e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.8648185281871591e+01	4.9998391141191284e+01	3.9679612226138755e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.3411298851438474e+01	5.0000337509875287e+01	3.9460683190800012e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.1825795332644137e+01	4.9996913186784951e+01	3.9102082001643726e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.4120346227692663e+01	4.9999883425533042e+01	3.8951019617308253e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.0217382001832632e+01	5.0001559148188043e+01	3.8899916318971435e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.3792622643376609e-02	5.0003429885542261e+01	3.8843968843995521e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.2846587830704435e+00	5.0003126166852987e+01	3.8858443444550170e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.3262144571380855e+01	4.9998063793580634e+01	3.8938133371798517e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.5482659335085199e+01	4.9998274259353202e+01	3.9197574756809092e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.8701685367850828e+01	4.9997702341270852e+01	3.9294805939479721e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.7318396242204500e+01	5.0000366744138056e+01	3.9620225640810821e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

-4.9240872092452150e+01	4.9998389630400361e+01	4.0244190673939192e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.43013786721969996e+01	5.0002164977824442e+01	4.058082907695409e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.1239562344885471e+01	4.999625002393006e+01	4.112660900699628e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.8787573053144783e+01	4.9998295778264371e+01	4.1857709948537229e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.3245543209314761e+01	4.9998062675761574e+01	4.2378861277557019e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.7795113804855858e+01	4.9999636937372479e+01	4.3002514155414269e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.2211495568691575e+01	4.99996035045110183e+01	4.3734100672300110e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.3990229717805946e+01	5.0001290112726615e+01	4.4078919041245672e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

TFM_ensayo_A_2_limpio.txt

[illegible]

0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
6.0340526171301519e+01	4.9999999999999936e+01	4.3994499552525912e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
5.4683204636798749e+01	4.9999999999999950e+01	4.3281311525772350e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
5.1149344585111251e+01	4.9999999999999950e+01	4.2914787564805414e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.6485755210999777e+01	4.9999999999999950e+01	4.2500283285580758e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.0729743777289819e+01	4.9999999999999950e+01	4.2075711901097139e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.5046507415102056e+01	4.9999999999999950e+01	4.1733668104710989e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.2138318575304893e+01	4.9999999999999950e+01	4.1584313354494327e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.8089429798852244e+01	4.9999999999999950e+01	4.1402510438716843e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.6456331363035261e+01	4.9999999999999950e+01	4.1031463428237265e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.5306972179736066e+01	4.9999999999999950e+01	4.1006044827295079e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.0774742523019532e+00	4.9999999999999950e+01	4.0856311074315704e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.9375840757586986e+00	4.9999999999999950e+01	4.0850868690928257e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.7404775279411187e+00	4.9999999999999950e+01	4.0897119367959272e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.3868891360347540e+01	4.9999999999999950e+01	4.0976942231689634e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.9384336102878020e+01	4.9999999999999950e+01	4.1105036988221389e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.4862231669101863e+01	4.9999999999999950e+01	4.1277954105589947e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.0091283707960034e+01	4.9999999999999950e+01	4.1488728030539176e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.4461608680370333e+01	4.9999999999999950e+01	4.1702308081202199e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.1296629316785435e+01	4.9999999999999950e+01	4.2113793540248560e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.8966018727051541e+01	4.9999999999999950e+01	4.2711893304588511e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.0074542285848601e+01	4.9999999999999950e+01	4.2812846099411342e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.4829759776674514e+01	4.9999999999999950e+01	4.3297653681315279e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.9454872658241761e+01	4.9999999999999950e+01	4.3870195596574536e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

TFM_ensayo_A.2.txt

0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-6.5000000000000000e+01	1.8000000000000000e+02	0.0000000000000000e+00	9.0000000000000000e+01
5.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	6.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.0264436000000000e-05	-1.7390349999999999e-05	-1.5893610000000000e-05	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.4349784000000001e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.2334012000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-7.5764454000000004e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN

7.3857813999999997e-09	-1.1143612000000001e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.7058691000000002e-08	6.6116234999999996e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.7296420000000000e-08	-2.1380734999999999e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-6.0047665000000005e-10	1.3856907000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.2178158999999999e-08	-1.4950508000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
3.7283100000000000e-10	8.0287086999999997e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
9.7385358999999999e-12	3.1214676999999998e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.5862495000000000e-11	1.7125956000000000e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.4244830000000000e-11	7.9404674999999996e-10	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.3799116000000000e-11	2.4661417999999999e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.7420764000000001e-11	-4.0029901999999997e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
8.3549699000000002e-12	-6.8563664999999997e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-4.7796210000000004e-12	-1.7782027999999999e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.2634291000000000e-11	7.6640233000000008e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.1886736000000001e-12	8.3449432999999997e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-7.8549493000000005e-06	-1.2440839000000000e-05	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-8.4801681999999996e-06	1.5544839000000001e-05
-3.5696299999999999e-03	7.9231983999999995e-03	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-3.4608906000000001e-03	4.9648673999999995e-04
-8.0166696000000002e-05	-1.1810259000000000e-04	-3.5085005000000001e-05	8.2595164000000000e-05	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.6524189999999999e-05	2.3790331000000000e-05	-1.0452509000000000e-04	-8.7017409000000006e-06	NaN	NaN
9.5940866999999998e-06	-4.3001367000000001e-04	-1.1474721000000000e-05	-3.0115863000000002e-04	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
4.4776537999999998e-04	1.1424280000000000e-03	3.3413690999999997e-05	7.4729471999999996e-04	NaN	NaN
-5.3623212000000005e-04	9.1167232000000000e-04	-6.0421458000000001e-04	-3.2695798000000001e-05	NaN	NaN
-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
-6.9460177000000005e-04	-6.7034129999999996e-04	5.6443601000000004e-04	8.4806476999999998e-07	NaN	NaN
1.1390517000000000e-05	-2.7039948999999999e-05	-5.9038303000000003e-06	9.2082453000000006e-06	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
2.4966451000000002e-05	2.8442733000000002e-05	-5.9212127000000002e-05	-1.1756360000000000e-05	NaN	NaN
-2.0301337000000001e-06	-4.8062964999999997e-08	1.5455244000000001e-06	1.3344890000000000e-06	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.2859893000000000e-06	-3.9738208000000000e-06	3.2946456000000001e-07	-4.9641656000000004e-06	NaN	NaN
3.3320165000000002e-06	-6.3235852000000004e-06	-1.6495108000000000e-06	2.8278222999999998e-07	NaN	NaN
-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.7610498000000000e-06	-3.6201267000000002e-06	1.6359915999999999e-06	7.5279115000000000e-07	NaN	NaN
6.0335572233874871e+01	4.9997746714921817e+01	4.3993345024442755e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
5.4679991942914761e+01	5.0000289820413045e+01	4.3280086810747559e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
5.1147670101864101e+01	5.0000340080621079e+01	4.2913586802145181e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.6479581318165529e+01	5.0000920693942248e+01	4.2499239315966133e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.0727280553317023e+01	5.0000853002488888e+01	4.2074513914754078e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.5044436544668258e+01	5.0001125096914322e+01	4.1732415906528507e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.2137477767873030e+01	4.9998513906844636e+01	4.1583271719735768e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.8087404490530950e+01	5.0002380182569730e+01	4.1401493280404827e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.6451831760960932e+01	4.9998226463959895e+01	4.1030342650338224e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.5303124587294839e+01	4.9997093250766511e+01	4.10049721121104423e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.0729025273932562e+00	4.9999980253572744e+01	4.0854922325990196e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

-4.1155483376012960e+01	-1.9609631327048067e+01	3.8622270077255268e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.4739360933813288e+01	1.3640880422708767e+01	3.8679538632751382e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.3629064880434363e+01	2.6280264484275936e+01	3.8895455467194887e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.0188179804691604e+00	4.9602666673800599e+01	3.8858224731324390e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.6487593506541149e+01	4.0441101646249109e+01	3.8758322613078764e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.4244021368916648e+01	1.4763726402131271e+01	3.8673142461530216e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.0523477346895612e+01	-4.4887548829123148e+01	3.8647007335581975e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.0422205867099045e+01	-4.9986671074649038e+01	3.8902520320141241e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.8033016403469546e+01	-4.6556610752832036e+01	3.9460678425379518e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.0062515933584883e+01	-3.2107281215155560e+01	4.0067829826732111e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.3681502029997404e+01	1.2751193867356578e+01	4.0676672402745862e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.0405110364133321e+01	2.2354395328994450e+01	4.0587507672194846e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.5541482268105099e+01	4.8016144814589715e+01	3.9910231770448456e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.6782361158011891e+01	4.5401676892088652e+01	3.8761439416230655e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.2661632548998227e+00	1.4478320995465051e+01	3.7696994287945654e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.0985896467206871e+01	-3.4868263743875701e+01	3.8242532067689427e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.1931528104480570e+01	-4.7831028632006237e+01	3.9286991129300407e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.7481620677505965e+01	-5.0000000000000050e+01	4.0139542073903345e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.5719897953213206e+01	-3.8882548086611727e+01	4.1870507912756892e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-9.0589873252367141e+01	1.4685333631180068e+01	4.2880772292652830e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-9.1120705675227256e+01	1.9297717288835614e+01	4.3124354617697583e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.4020453314536610e+01	4.7410364664047812e+01	4.2262970175641266e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.4003343976143512e+01	3.9601699842331726e+01	3.9398287900348561e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.1152157904344520e+01	7.8217232520115036e+00	3.8090615150627747e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.8476979087222361e+01	-2.1770197007295096e+01	3.8557809842890975e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.0761380741481318e+01	-5.0000000000000043e+01	4.2080825631215339e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.4621599063351027e+01	-4.9996128598633248e+01	4.2557654230395462e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-9.0416231964953568e+01	-4.3610721837018268e+01	4.4772738063535365e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.0352990061099527e+02	-1.7167413012435219e+01	4.6655842916222855e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.0204010811097955e+02	2.5692785738566581e+01	4.6860972002937518e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-9.1063940799983499e+01	4.6249882289902992e+01	4.5336593682085595e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.0869261081500554e+01	2.4006582013938431e+01	3.9851215911643078e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.8784560675659328e+01	4.8348495738229911e+00	3.9383763753296859e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.6044931663994490e+01	-3.0732160591933553e+01	4.0489485226750480e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

TFM_ensayo_ABC.1.txt

0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-6.5000000000000000e+01	1.8000000000000000e+02	0.0000000000000000e+00	9.0000000000000000e+01
5.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	8.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.0264436000000000e-05	-1.7390349999999999e-05	-1.5893610000000000e-05	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.4349784000000001e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.2334012000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN

0.000000000000000e+00	-7.576445400000000e-06	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
7.385781399999999e-09	-1.114361200000000e-05	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.705869100000000e-08	6.611623499999999e-06	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.729642000000000e-08	-2.138073499999999e-05	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-6.004766500000000e-10	1.385690700000000e-05	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.217815899999999e-08	-1.495050800000000e-05	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
3.728310000000000e-10	8.028708699999999e-06	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
9.738535899999999e-12	3.121467699999999e-08	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.586249500000000e-11	1.712595600000000e-08	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.424483000000000e-11	7.940467499999999e-10	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.379911600000000e-11	2.466141799999999e-08	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.742076400000000e-11	-4.002990199999999e-08	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
8.354969900000000e-12	-6.856366499999999e-09	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-4.779621000000000e-12	-1.778202799999999e-08	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.263429100000000e-11	7.664023300000000e-09	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.188673600000000e-12	8.344943299999999e-09	0.000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-7.854949300000000e-06	-1.244083900000000e-05	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	-8.480168199999999e-06	1.554483900000000e-05
-3.569629999999999e-03	7.923198399999999e-03	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	-3.460890600000000e-03	4.964867399999999e-04
-8.016669600000000e-05	-1.181025900000000e-04	-3.508500500000000e-05	8.259516400000000e-05	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	-0.000000000000000e+00	-0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
1.652418999999999e-05	2.379033100000000e-05	-1.045250900000000e-04	-8.701740900000000e-06	NaN	NaN
9.594086699999999e-06	-4.300136700000000e-04	-1.147472100000000e-05	-3.011586300000000e-04	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	-0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	-0.000000000000000e+00	NaN	NaN
4.477653799999999e-04	1.142428000000000e-03	3.341369099999999e-05	7.472947199999999e-04	NaN	NaN
-5.362321200000000e-04	9.116723200000000e-04	-6.042145800000000e-04	-3.269579800000000e-05	NaN	NaN
1.761049800000000e-03	-0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
-6.946017700000000e-04	-6.703412999999999e-04	5.644360100000000e-04	8.480647699999999e-07	NaN	NaN
1.139051700000000e-05	-2.703994899999999e-05	-5.903830300000000e-06	9.208245300000000e-06	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	-0.000000000000000e+00	-0.000000000000000e+00	NaN	NaN
2.496645100000000e-05	2.844273300000000e-05	-5.921212700000000e-05	-1.175636000000000e-05	NaN	NaN
-2.030133700000000e-06	-4.806296499999999e-08	1.545524400000000e-06	1.334489000000000e-06	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
1.285989300000000e-06	-3.973820800000000e-06	3.294645600000000e-07	-4.964165600000000e-06	NaN	NaN
3.332016500000000e-06	-6.323585200000000e-06	-1.649510800000000e-06	2.827822299999999e-07	NaN	NaN
-0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	-0.000000000000000e+00	NaN	NaN
1.761049800000000e-06	-3.620126700000000e-06	1.635991599999999e-06	7.527911500000000e-07	NaN	NaN
7.365893439979962e+01	4.632259226597476e+01	4.2133285795439139e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
9.5843843525046893e+01	4.1015210652133860e+01	4.6244324536351229e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.0433170621484850e+02	-1.3294742127677241e+01	4.6824319536259520e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
9.5267712080876265e+01	-3.6695547534138804e+01	4.5320516595870362e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
7.8653456221996649e+01	-4.9303522189143422e+01	4.3067068703780330e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
6.0464011301720660e+01	-4.6951196987376960e+01	4.0856834033887964e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
4.3093123097080948e+01	-2.5045412505672534e+01	3.8835817628709515e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
3.9261185571912520e+01	1.4500514740151072e+01	3.8452334939022893e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
4.4348916965263570e+01	3.355095935282651e+01	3.9166598070406297e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
6.1065852496914957e+01	4.8767412939932790e+01	4.1027362348963783e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00

7.7272403544148617e+01	4.5010917411597987e+01	4.2494225129861360e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
9.5260602553977506e+01	-1.6600907251736061e+01	4.3837837790192265e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
8.2920529459403099e+01	-3.7892958182135395e+01	4.2776900390096876e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.7897453877850083e+01	-4.9998761438549792e+01	4.0163244987767069e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.6545551600964618e+01	-4.8706098750626055e+01	3.9157445062898859e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.8241875862860235e+00	-2.7108500011828188e+01	3.7960325099321199e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.8310013689543283e+01	-9.0722375602457532e+00	3.7790155688610724e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.6779253584431618e+01	2.6015659283555191e+01	3.8053227320747328e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.8192610240532755e+01	4.9949451741595460e+01	3.9019960192483933e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.0701945355697390e+01	2.6388770750020793e+01	3.9910188747071885e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.6139018587178370e+01	-1.0107523616450136e+01	3.9967656625508505e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.1813434938459899e+01	-2.1272213643327245e+01	3.9845157695493754e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.6626930436771733e+01	-5.0003695343410115e+01	3.8993083591932992e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.4000848595484658e+00	-4.9642663305711430e+01	3.8846861752854409e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.1157238809574245e+01	-1.9615634287036972e+01	3.8621245962741040e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.4743235469460586e+01	1.3637154607582648e+01	3.8678161679834426e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.3630048232659149e+01	2.6276108504563460e+01	3.8894390812385183e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.0179347415038400e+00	4.9600425566279583e+01	3.8857074059865619e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.6481848049732118e+01	4.0443609268727450e+01	3.8757274509530930e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.4240073812740675e+01	1.4771827265500480e+01	3.8671912910999424e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.0521820116563324e+01	-4.4886639230139835e+01	3.8645946749494925e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.0419644113169104e+01	-4.9982615480720547e+01	3.8901502183478925e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.8037231629891643e+01	-4.6555424240874970e+01	3.9459380455067088e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.0059534887962791e+01	-3.2111671231700633e+01	4.0066737346999503e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.3682016044427314e+01	1.2748349169226849e+01	4.0675590860070866e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.0407904885448900e+01	2.2351644253061643e+01	4.0586382031648759e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.5545409312477751e+01	4.8013976056657519e+01	3.9909064819879171e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.6783220506024637e+01	4.5401026027560235e+01	3.8760323365089448e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.2597404421191878e+00	1.4486673238994594e+01	3.7695863468714902e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.0984322766789463e+01	-3.4865960691226043e+01	3.8241142445019517e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.1933671257047898e+01	-4.7833905052944083e+01	3.9285824744617952e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.7482471500076954e+01	-4.9997606333646146e+01	4.0138308675302267e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.5724327755231926e+01	-3.8886312218042150e+01	4.1869296658999184e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-9.0593278019050487e+01	1.4686041446116239e+01	4.2879562133278847e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-9.1127100873935106e+01	1.9292544801390800e+01	4.3123409677169531e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.4026589183953078e+01	4.7404957375586704e+01	4.2261735160087500e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.4013746589978318e+01	3.9601233503168949e+01	3.9397295029239325e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.1160836053777189e+01	7.8299464162694168e+00	3.8089361813561908e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.8482781105107428e+01	-2.1768775665773742e+01	3.8556569123103162e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.0764426965306953e+01	-4.9999405608415287e+01	4.2079611010568675e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.4628211265352590e+01	-4.9995427254563729e+01	4.2556448426826944e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-9.0416082750946771e+01	-4.3619389534475332e+01	4.4771730146756533e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.0353736885017709e+02	-1.7171351032728964e+01	4.6655068977872656e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.0204361908588984e+02	2.5687305667390952e+01	4.6860337386414045e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-9.1067493411894276e+01	4.6251304873094007e+01	4.5335627870024831e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.0879354790509609e+01	2.4013447410977406e+01	3.9850364244289398e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

-5.8789432805138041e+01	4.8387477122569980e+00	3.9382745076668050e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.6050777923442141e+01	-3.0729744562635947e+01	4.0488010737811288e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

TFM_ensayo_ABC_2_limpio.txt

0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
3.9548549975842079e+01	2.6095903498401835e+01	4.0673700434203795e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
7.1140391852503001e+01	4.6902313622276509e+01	4.5652805221523226e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
8.0862715536267089e+01	3.4528975735240486e+01	4.6863685775066671e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
8.8823498896606509e+01	1.7563125194014830e+00	4.7788856349936736e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
8.0877859893984649e+01	-3.3634486225376804e+01	4.6660209055345723e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.8249475256687461e+01	-4.7218818511874112e+01	4.5003134651679073e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
5.3269036813569755e+01	-5.0000000000000050e+01	4.3128499022030508e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.1861132253511606e+01	-2.3054913816670787e+01	3.9893277213304657e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.7068186846478838e+01	7.8105180819826128e+00	3.9506740941933970e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.0804654474193928e+01	2.8218100595178935e+01	4.0026562748139702e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.2220546622694656e+01	4.6780216815321090e+01	4.3899049648409522e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
7.9414180819862537e+01	2.4860056222918772e+01	4.5061580032399280e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
8.1632696045505114e+01	-1.7534071438915372e+01	4.5136894100561994e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.8804953463790895e+01	-3.8071258883810394e+01	4.4045412023019054e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.0067889865779662e+01	-5.0000000000000050e+01	4.2032207281608964e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.7275685618443028e+01	-4.9876369455666527e+01	4.1360418694126281e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.2632136299412009e+00	-2.8346915812876759e+01	3.9801606944383042e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.2632614881731001e+01	-8.8447892532458727e+00	3.9644804533687778e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.3479137892551709e+00	4.600202381169985e+01	4.0589744134626932e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
7.8485924920911065e+00	4.8853022219041947e+01	4.0809882060508858e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
5.1269557190254112e+01	3.6278928899718430e+01	4.1903275197847347e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.5314176415644098e+01	-3.3946393156655907e-01	4.2163821056839612e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
5.7751734746045742e+01	-2.6610575661403548e+01	4.1982108961399297e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.4769526212511877e+01	-4.8919322439856643e+01	4.1197876776839018e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.2486018469526664e+01	-5.0000000000000050e+01	4.0951757562844193e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.0335598405716844e+01	-2.7704457071643297e+01	4.0312150465600558e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.8920155016333752e+01	-1.3762572922142539e+01	4.0322553954442299e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.5241907022240269e+01	2.6347048099531804e+01	4.0471194435181638e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-9.7976125214030478e+00	4.9117793179378154e+01	4.0850815227477079e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.5116860038603146e+01	3.9928098925583143e+01	4.0660442481159743e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.3054249667571803e+01	1.1278161233375327e+01	4.0500170674127651e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.4418719483425132e+01	-3.9808550073201523e+01	4.0631243180112597e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.4780787832907087e+00	-5.0000000000000050e+01	4.0873584099112668e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.5880280183061483e+01	-5.0000000000000050e+01	4.1018482610682150e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.8191073728725527e+01	-3.7920371000966611e+01	4.1758518512002388e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.9817405489482567e+01	-7.6372180986590266e+00	4.2743989286639294e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.9958406354244133e+01	2.1058914315658605e+01	4.3128564297735602e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.5986179329280255e+01	4.9791442425821955e+01	4.1769284908785858e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.1880346695078088e-01	3.2851661095087607e+01	3.9935799842588506e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.8874441374345157e+00	-1.9077720763151842e+01	3.9527194248522187e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.0557829162876997e+00	-3.0142299677245145e+01	3.9833441811233951e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.6236898083047294e+01	-4.9997420491407404e+01	4.1799415916086843e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

-3.9006038885203182e+01	-5.0000000000000050e+01	4.1964511702772575e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.4228578123622626e+01	-2.8693116970295577e+01	4.4229577190935214e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.0592982402506536e+01	-1.5005325107677184e+01	4.4751501912597041e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.0004964682528950e+01	2.2212997266168792e+01	4.5013480145047782e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.3935829929819150e+01	4.7839918080738542e+01	4.1514714527409762e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.8545662366208227e+01	3.1276432850845943e+01	4.0083691938125355e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.4966773760879422e+01	-1.8037285756083783e+01	3.9620807435577615e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.6997907444429973e+01	-3.8877061084597557e+01	4.0670531482869148e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.1031144264892163e+01	-5.0000000000000050e+01	4.2903373889903344e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.7435954702133756e+01	-5.0000000000000057e+01	4.3605749672194122e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.8087764351701480e+01	-3.7587386905373172e+01	4.6202271529514269e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.6679413891031174e+01	1.8523008538463746e+01	4.7470754758731272e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.2738598789034313e+01	3.1203526977946556e+01	4.7249912243191363e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

TFM_ensayo_ABC_2.txt

0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-6.5000000000000000e+01	1.8000000000000000e+02	0.0000000000000000e+00	9.0000000000000000e+01
5.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	6.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.0264436000000000e-05	-1.7390349999999999e-05	-1.5893610000000000e-05	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.4349784000000001e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.2334012000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-7.5764454000000004e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
7.3857813999999997e-09	-1.1143612000000001e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.7058691000000002e-08	6.6116234999999996e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.7296420000000000e-08	-2.1380734999999999e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-6.0047665000000005e-10	1.3856907000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.2178158999999999e-08	-1.4950508000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
3.7283100000000000e-10	8.0287086999999997e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
9.7385358999999999e-12	3.1214676999999998e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.5862495000000000e-11	1.7125956000000000e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.4244830000000000e-11	7.9404674999999996e-10	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.3799116000000000e-11	2.4661417999999999e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.7420764000000001e-11	-4.0029901999999997e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
8.3549699000000002e-12	-6.8563664999999997e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-4.7796210000000004e-12	-1.7782027999999999e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.2634291000000000e-11	7.6640233000000008e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.1886736000000001e-12	8.3449432999999997e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-7.8549493000000005e-06	-1.2440839000000000e-05	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-8.4801681999999996e-06	1.5544839000000001e-05
-3.5696299999999999e-03	7.9231983999999995e-03	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-3.4608906000000001e-03	4.9648673999999995e-04
-8.0166696000000002e-05	-1.1810259000000000e-04	-3.5085005000000001e-05	8.2595164000000000e-05	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.6524189999999999e-05	2.3790331000000000e-05	-1.0452509000000000e-04	-8.7017409000000006e-06	NaN	NaN

9.5940866999999998e-06	-4.3001367000000001e-04	-1.1474721000000000e-05	-3.0115863000000002e-04	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
4.4776537999999998e-04	1.1424280000000000e-03	3.3413690999999997e-05	7.4729471999999996e-04	NaN	NaN
-5.3623212000000000e-04	9.1167232000000000e-04	-6.0421458000000001e-04	-3.2695798000000001e-05	NaN	NaN
-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
-6.9460177000000005e-04	-6.7034129999999996e-04	5.6443601000000004e-04	8.4806476999999998e-07	NaN	NaN
1.1390517000000000e-05	-2.7039948999999999e-05	-5.9038303000000003e-06	9.2082453000000006e-06	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
2.4966451000000002e-05	2.8442733000000002e-05	-5.9212127000000002e-05	-1.1756360000000000e-05	NaN	NaN
-2.0301337000000001e-06	-4.8062964999999997e-08	1.5455244000000001e-06	1.3344890000000000e-06	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.2859893000000000e-06	-3.9738208000000000e-06	3.2946456000000001e-07	-4.9641656000000004e-06	NaN	NaN
3.3320165000000002e-06	-6.3235852000000004e-06	-1.6495108000000000e-06	2.8278222999999998e-07	NaN	NaN
-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.7610498000000000e-06	-3.6201267000000002e-06	1.6359915999999999e-06	7.5279115000000000e-07	NaN	NaN
3.9541258170263966e+01	2.6096371285754916e+01	4.0672297701296765e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
7.1139926316440409e+01	4.6904406254960030e+01	4.5651590959102447e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
8.0860455028949332e+01	3.4533792403796042e+01	4.6862248143115625e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
8.8821152665986503e+01	1.7568169859538962e+00	4.7787851135214646e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
8.0877848599210097e+01	-3.3631580898373507e+01	4.6659368863831156e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.8249582554980790e+01	-4.7219210676349256e+01	4.5002141830770233e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
5.3269026437981225e+01	-5.0005004931956826e+01	4.3127542200577409e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.1854146690877389e+01	-2.3057000548701339e+01	3.9892545490339921e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.7066920557597655e+01	7.8052709278809997e+00	3.9505861120374556e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.0801724113719082e+01	2.8220008788505165e+01	4.0025406537371219e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.2218907423580177e+01	4.6780755905852189e+01	4.3897881929369777e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
7.9411893714610713e+01	2.4865112241160965e+01	4.5060234018217864e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
8.1630915398752151e+01	-1.7533711751400954e+01	4.5136003440330859e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.8804939506153872e+01	-3.8066848762695365e+01	4.4044533029223868e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.0067185901001451e+01	-5.0003378963876806e+01	4.2031274388972957e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.7273791541842488e+01	-4.9878087660553575e+01	4.1359523482287091e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.2651979206385926e+00	-2.8349415189549816e+01	3.9800618025920437e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.2634658450551061e+01	-8.8478630307039552e+00	3.9643857384860985e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.3471269185463883e+00	4.6002589639374150e+01	4.0588441196192315e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
7.8451627376960609e+00	4.8851306560510970e+01	4.0808836688885197e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
5.1264737909357528e+01	3.6279746710226100e+01	4.0310916447725134e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.5314092444802100e+01	-3.3587030457072486e-01	4.2162616157688751e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
5.7751139952847204e+01	-2.6609759250528853e+01	4.1981145152502165e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.4772246044674354e+01	-4.8915785195796204e+01	4.1197026932663130e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.2485442514654324e+01	-5.0001438680674205e+01	4.0950740102024912e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.0336380900083171e+01	-2.7704276474174282e+01	4.0310916447725134e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.8925285393781614e+01	-1.3767327467979261e+01	4.0321681470904991e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.5245731089055553e+01	2.6348307301094586e+01	4.0469857054030530e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-9.7991693242011397e+00	4.9117321690339502e+01	4.0849513634086719e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.5112726158555557e+01	3.9928460782005054e+01	4.0659148602392634e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.3051696552475470e+01	1.1282703114276698e+01	4.0498980962671493e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

2.4420552002844374e+01	-3.9808217752162221e+01	4.0630294186480580e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.4753508030483289e+00	-5.0001215910132814e+01	4.0872345781410871e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.5881006467832274e+01	-5.0002747887542391e+01	4.1017343854931113e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.8196988308500664e+01	-3.7921594319710309e+01	4.1757394118925413e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.9818881155109949e+01	-7.6421282241001309e+00	4.2742898277265897e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.9960342766474668e+01	2.1057528055365648e+01	4.3127336333213719e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.5991811831067125e+01	4.9791986869321363e+01	4.1768308184166580e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.2663619419072965e-01	3.2852905052373373e+01	3.9934411343880510e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.8832080983517283e+00	-1.9074590742361792e+01	3.9525700177882766e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.0575172621359139e+00	-3.0139542391057677e+01	3.9832178122267072e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.6240052800659193e+01	-4.9998143400340886e+01	4.1798304548117898e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.9008865039304126e+01	-4.9999025351365248e+01	4.1963151290659965e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.4230802318269170e+01	-2.8697835400545625e+01	4.4228368964606511e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.0596972301511954e+01	-1.5011043085044749e+01	4.4750561890215067e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.0010804838918617e+01	2.2211559244788095e+01	4.5012329677878949e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.3936021563433862e+01	4.7842110474584416e+01	4.1513587680349741e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.8552098501484394e+01	3.1279879260927540e+01	4.0082505132862866e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.4971483056733156e+01	-1.8033702787382822e+01	3.9619460257936265e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.7001612682993674e+01	-3.8882744295322610e+01	4.0669164031138706e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.1037046287534274e+01	-5.0003665331783012e+01	4.2902035930555832e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.7441215453336106e+01	-5.0000295086293285e+01	4.3604427496682689e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.8089524904978731e+01	-3.7588044301476131e+01	4.6201046908704620e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.6683639651402913e+01	1.8519582859608160e+01	4.7469827588991450e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.2741204827569675e+01	3.1198621031237245e+01	4.7248955267007864e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

TFM_ensayo_ABC_ini.txt

0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

TFM_ensayo_C_1_limpio.txt

0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-6.5000000000000000e+01	1.8000000000000000e+02	0.0000000000000000e+00	9.0000000000000000e+01
5.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	8.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN

-4.3320020282468221e+01	2.4967495723971588e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.5408366980923056e+01	3.5302231483920025e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.4515087662617731e+01	3.6176079439897975e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.6268385048233032e+01	4.2543765077361954e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.1011413527434467e+01	4.5370921321691711e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.0033765502388512e+00	4.9638286332185530e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.9856623727275653e+00	4.9960555891037970e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.1256055528721747e+01	4.8716539428969377e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.6280057954168427e+01	4.7275360527540272e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.7373779736818051e+01	4.1841082477872938e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.3405915067513313e+01	3.7202753103797086e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.0529185130117817e+01	2.9281139880281899e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.3905413328695019e+01	2.3923099306662763e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.7447380285716591e+01	1.5771686784316758e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.8326648624591257e+01	1.2827120983108060e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.9899353949066032e+01	-3.1708792890663058e+00	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.9639856311395974e+01	-5.9903810716817052e+00	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.7647115583133598e+01	-1.5157584788069283e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.4624568365245928e+01	-2.2553223676793859e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.8078612098574247e+01	-3.2404001306109073e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.2014870372663260e+01	-3.8406354617713625e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.3466643195551345e+01	-4.4151066319316548e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.4747050410013523e+01	-4.7775773193162713e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.0775116873603839e+01	-4.8825166219483400e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.1021821192326178e-14	-5.0000000000000050e+01	3.8844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

TFM_ensayo_C_1.txt

0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-6.5000000000000000e+01	1.8000000000000000e+02	0.0000000000000000e+00	9.0000000000000000e+01
5.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	8.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.0264436000000000e-05	-1.7390349999999999e-05	-1.5893610000000000e-05	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.4349784000000001e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.2334012000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-7.5764454000000004e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
7.3857813999999997e-09	-1.1143612000000001e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.7058691000000002e-08	6.6116234999999996e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.7296420000000000e-08	-2.1380734999999999e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-6.0047665000000005e-10	1.3856907000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.2178158999999999e-08	-1.4950508000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
3.7283100000000000e-10	8.0287086999999997e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
9.7385358999999999e-12	3.1214676999999998e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.5862495000000000e-11	1.7125956000000000e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN

-1.4244830000000000e-11	7.9404674999999996e-10	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.3799116000000000e-11	2.4661417999999999e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.7420764000000001e-11	-4.0029901999999997e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
8.3549699000000002e-12	-6.8563664999999997e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-4.7796210000000004e-12	-1.7782027999999999e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.2634291000000000e-11	7.6640233000000008e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.1886736000000001e-12	8.3449432999999997e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-7.8549493000000005e-06	-1.2440839000000000e-05	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-8.4801681999999996e-06	1.5544839000000001e-05
-3.5696299999999999e-03	7.9231983999999995e-03	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-3.4608906000000001e-03	4.9648673999999995e-04
-8.0166696000000002e-05	-1.1810259000000000e-04	-3.5085005000000001e-05	8.2595164000000000e-05	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.6524189999999999e-05	2.3790331000000000e-05	-1.0452509000000000e-04	-8.7017409000000006e-06	NaN	NaN
9.5940866999999998e-06	-4.3001367000000001e-04	-1.1474721000000000e-05	-3.0115863000000002e-04	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
4.4776537999999998e-04	1.1424280000000000e-03	3.3413690999999997e-05	7.4729471999999996e-04	NaN	NaN
-5.3623212000000005e-04	9.1167232000000000e-04	-6.0421458000000001e-04	-3.2695798000000001e-05	NaN	NaN
-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
-6.9460177000000005e-04	-6.7034129999999996e-04	5.6443601000000004e-04	8.4806476999999998e-07	NaN	NaN
1.1390517000000000e-05	-2.7039948999999999e-05	-5.9038303000000003e-06	9.2082453000000006e-06	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
2.4966451000000002e-05	2.8442733000000002e-05	-5.9212127000000002e-05	-1.1756360000000000e-05	NaN	NaN
-2.0301337000000001e-06	-4.8062964999999997e-08	1.5455244000000001e-06	1.3344890000000000e-06	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.2859893000000000e-06	-3.9738208000000000e-06	3.2946456000000001e-07	-4.9641656000000004e-06	NaN	NaN
3.3320165000000002e-06	-6.3235852000000004e-06	-1.6495108000000000e-06	2.8278222999999998e-07	NaN	NaN
-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.7610498000000000e-06	-3.6201267000000002e-06	1.6359915999999999e-06	7.5279115000000000e-07	NaN	NaN
1.1889602524514384e-03	-5.0000016847772983e+01	3.8843703220148814e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-9.1052668757626805e+00	-4.9166571196071438e+01	3.8843765794914094e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.8333139063521411e+01	-4.6521187036913950e+01	3.8843844614614818e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.5851608796011448e+01	-4.2802344901791358e+01	3.8843905257792045e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.3792475772761271e+01	-3.6855377354760499e+01	3.8843782378520098e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.6343035922783187e+01	-3.4342627262639603e+01	3.8843946854282370e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.4442871429778151e+01	-2.2911989699599882e+01	3.8843893738619829e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.7743732853671553e+01	-1.4861110023511577e+01	3.8843873680270048e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.9684222902403938e+01	-5.6252827100300653e+00	3.8843872030349058e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.0000726180482445e+01	3.6862914712786643e-01	3.8844064635734549e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.9089432948572316e+01	9.4896318722190482e+00	3.8843984781251032e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.7652179258351559e+01	1.5140991747020086e+01	3.8843729911527652e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.3319523665691925e+01	2.4967377236664507e+01	3.8843662930581917e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.5412738097762194e+01	3.5302844179817953e+01	3.8843872030349058e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.4517235317293512e+01	3.6171109886548997e+01	3.8843758396808903e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.6271478355494065e+01	4.2546708111733423e+01	3.8843874005528318e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.1015156174899545e+01	4.5368830810702633e+01	3.8844083406300138e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.0046141783211668e+00	4.9637956133529599e+01	3.8843789096135868e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.9848775233265135e+00	4.9957749045178900e+01	3.8843573170449844e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

1.1251889939310818e+01	4.8714811942245341e+01	3.8843896714000658e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.6274441459106292e+01	4.7274288831298918e+01	3.8843795953025784e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.7365196221915500e+01	4.1839197950126547e+01	3.8843615602087300e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.3402975361109320e+01	3.7205335848172098e+01	3.8843781486323383e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.0524502875583124e+01	2.9283708037214520e+01	3.8843737965661597e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.3902553244686700e+01	2.3924173099364292e+01	3.8843674725931635e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.7441719019424916e+01	1.5776998141575064e+01	3.8844123539261585e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.8324338498604000e+01	1.2835227341684138e+01	3.8843865409322621e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.9889953286258219e+01	-3.1653656499799503e+00	3.8843847800887141e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.9639037233701707e+01	-5.9861550785837059e+00	3.8844092578060372e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.7650811338241738e+01	-1.5152765866050094e+01	3.8843872473918111e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.462808471873506e+01	-2.2549850568070354e+01	3.8843858874163544e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.8082356610554022e+01	-3.2402195397852751e+01	3.8844002214595736e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.2014670796652148e+01	-3.8404251730118183e+01	3.8843877740372011e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.3468366799655104e+01	-4.4150484556653709e+01	3.8844019654423676e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.4746247091140312e+01	-4.7774719733545759e+01	3.8844052877189284e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.0777087894127176e+01	-4.8827771877109477e+01	3.884410182919313e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.121042035530038e-03	-4.9999794326480661e+01	3.8843908177193327e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

TFM_ensayo_C_2_limpio.txt

[illegible]

0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
-2.4492935982947061e-15	-5.000000000000005e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-5.8907354949837103e+00	-4.9651779780065731e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-1.4859578384188085e+01	-4.7740893689207105e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-2.2227850594757832e+01	-4.4787527928399093e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-3.2636004277906267e+01	-3.7879958088314815e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-3.9087998368471617e+01	-3.1178973420341514e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-4.2164882824771112e+01	-2.6872339986933103e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-4.7248016682062492e+01	-1.6359245692009921e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-4.9014765785271798e+01	-9.8768788093683284e+00	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-4.9963279697506032e+01	1.9159023641044559e+00	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-4.9469211247904198e+01	7.2661639473815383e+00	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-4.7049947673514147e+01	1.6920473513456361e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-4.4455650943762045e+01	2.2884385488065565e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-3.8722944829152574e+01	3.1631211544270673e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-3.1317947210215006e+01	3.8976738993124890e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-2.8022554960186667e+01	4.1409375912989958e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-1.994385538990682e+01	4.5850219478644441e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-1.1676510912509752e+01	4.8617477237203857e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-3.5853173136056977e+00	4.9871289333250189e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.0207717510631587e+01	4.8946935585623137e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.7534071438915333e+01	4.6824740669596977e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
2.7275118115218053e+01	4.1905464223665398e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
3.1466019552491876e+01	3.8857298072848494e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
3.8713557955420718e+01	3.1642699480800921e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
4.2271017077356063e+01	2.6705076581913598e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
4.7294365621507922e+01	1.6224764419218211e+01	4.084499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00

4.9737914381787583e+01	5.1127167875766499e+00	4.0844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.9996074111608465e+01	-6.2655680233712541e-01	4.0844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.8329557762061242e+01	-1.2816155684275547e+01	4.0844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.8255169331748263e+01	-1.3093457632126970e+01	4.0844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.3471297686736733e+01	-2.4703163308190319e+01	4.0844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.8280336702135408e+01	-3.2165444532466033e+01	4.0844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.0685330313212202e+01	-3.9476708367961280e+01	4.0844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.3545975126378675e+01	-4.4108809271481832e+01	4.0844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.3002475573810832e+01	-4.8279764176645038e+01	4.0844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.0661750677389630e+01	-4.8850046801340802e+01	4.0844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
9.7971743931788261e-15	-5.0000000000000050e+01	4.0844999999999999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

TFM_ensayo_C.2.txt

0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-6.5000000000000000e+01	1.8000000000000000e+02	0.0000000000000000e+00	9.0000000000000000e+01
5.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	6.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.0264436000000000e-05	-1.7390349999999999e-05	-1.5893610000000000e-05	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.4349784000000001e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.2334012000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-7.5764454000000004e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
7.3857813999999997e-09	-1.1143612000000001e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.7058691000000002e-08	6.6116234999999996e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.7296420000000000e-08	-2.1380734999999999e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-6.0047665000000005e-10	1.3856907000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.2178158999999999e-08	-1.4950508000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
3.7283100000000000e-10	8.0287086999999997e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
9.7385358999999999e-12	3.1214676999999998e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.5862495000000000e-11	1.7125956000000000e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.4244830000000000e-11	7.9404674999999996e-10	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.3799116000000000e-11	2.4661417999999999e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.7420764000000001e-11	-4.0029901999999997e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
8.3549699000000002e-12	-6.8563664999999997e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-4.7796210000000004e-12	-1.7782027999999999e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.2634291000000000e-11	7.6640233000000008e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.1886736000000001e-12	8.3449432999999997e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-7.8549493000000005e-06	-1.2440839000000000e-05	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-8.4801681999999996e-06	1.5544839000000001e-05
-3.5696299999999999e-03	7.9231983999999995e-03	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-3.4608906000000001e-03	4.9648673999999995e-04
-8.0166696000000002e-05	-1.1810259000000000e-04	-3.5085005000000001e-05	8.2595164000000000e-05	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.6524189999999999e-05	2.3790331000000000e-05	-1.0452509000000000e-04	-8.7017409000000006e-06	NaN	NaN
9.5940866999999998e-06	-4.3001367000000001e-04	-1.1474721000000000e-05	-3.0115863000000002e-04	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN

4.4776537999999998e-04	1.1424280000000000e-03	3.3413690999999997e-05	7.4729471999999996e-04	NaN	NaN
-5.3623212000000005e-04	9.1167232000000000e-04	-6.0421458000000001e-04	-3.2695798000000001e-05	NaN	NaN
-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
-6.9460177000000005e-04	-6.7034129999999996e-04	5.6443601000000004e-04	8.4806476999999998e-07	NaN	NaN
1.1390517000000000e-05	-2.7039948999999999e-05	-5.9038303000000003e-06	9.2082453000000006e-06	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
2.4966451000000002e-05	2.8442733000000002e-05	-5.9212127000000002e-05	-1.1756360000000000e-05	NaN	NaN
-2.0301337000000001e-06	-4.8062964999999997e-08	1.5455244000000001e-06	1.3344890000000000e-06	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.2859893000000000e-06	-3.9738208000000000e-06	3.2946456000000001e-07	-4.9641656000000004e-06	NaN	NaN
3.3320165000000002e-06	-6.3235852000000004e-06	-1.6495108000000000e-06	2.8278222999999998e-07	NaN	NaN
-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.7610498000000000e-06	-3.6201267000000002e-06	1.6359915999999999e-06	7.5279115000000000e-07	NaN	NaN
-1.4464039824588688e-03	-5.0001528344965045e+01	4.0843920259549242e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.8919335788246165e+00	-4.9651833287390161e+01	4.0844027942714769e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.4858267015842788e+01	-4.7739462401945318e+01	4.0843943457723896e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.2227842799334447e+01	-4.4790930612228102e+01	4.0843867457889667e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.2636619417066974e+01	-3.7879273923153839e+01	4.0843986186562773e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.9088145514277819e+01	-3.1182392940766622e+01	4.0843652835795126e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.2167059208066249e+01	-2.6878877974088702e+01	4.0843775636889245e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.7251033694983590e+01	-1.6362361533428512e+01	4.0843833666113693e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.9016943828991288e+01	-9.8774974527865460e+00	4.0843869431214921e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.9962293824968299e+01	1.9122837486562405e+00	4.0843683359630000e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.9471013225186418e+01	7.2637126976229069e+00	4.0843799414279880e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.7048955456500273e+01	1.6917379513443951e+01	4.0843963820647235e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.4459755273033288e+01	2.2883802760652340e+01	4.0843860875395956e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.8727260016851105e+01	3.1629630157691327e+01	4.0843888752001357e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.1318457196331543e+01	3.8976206937599486e+01	4.0843603640936021e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.8025473619692395e+01	4.1409847081660956e+01	4.0843790317884645e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.9950825851982934e+01	4.5848249618976801e+01	4.0843414661348896e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.1679587961480705e+01	4.8616099786262239e+01	4.0844107407669821e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.5851986579986899e+00	4.9869776075866987e+01	4.0843777898919149e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.0201776926286106e+01	4.8947493326761609e+01	4.0843750580330965e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.7530325528334014e+01	4.6828442013034177e+01	4.0844048754912990e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.7269684817588065e+01	4.1904725925442278e+01	4.0843771367132473e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.1458462604411324e+01	3.8860632648821174e+01	4.0843734296602349e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.8705244184993717e+01	3.1647918524009270e+01	4.0843813622220506e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.2267613082551748e+01	2.6706707742002902e+01	4.0843667859370794e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.7291268865528423e+01	1.6227133105130370e+01	4.0843745889007062e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.9737255963972295e+01	5.1191045157012933e+00	4.0843859115417195e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.9997501253796635e+01	-6.2012356034851968e-01	4.0843734296602349e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.8328667111049100e+01	-1.2809229461582589e+01	4.0843668113618884e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.8257120109823184e+01	-1.3092190987064004e+01	4.0843692705563558e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.3468849038485573e+01	-2.4704087239804807e+01	4.0843947435838879e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.8279104634698029e+01	-3.2165828777700384e+01	4.0844021712215999e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.0689156999420359e+01	-3.9475886654698130e+01	4.0843592611530067e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

141

[illegible][illegible]

0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	NaN	NaN
9.933999999999993e+00	-2.113400000000043e+01	3.515929999999996e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-6.431399999999993e+01	4.633399999999961e+01	3.591889999999996e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-4.034799999999999e+01	-4.413800000000048e+01	3.764010000000001e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-3.557099999999998e+01	-5.1180000000000447e+00	3.632090000000000e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
8.087999999999974e+00	-4.722700000000046e+01	3.593580000000000e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
5.033299999999998e+01	-2.2380000000000480e+00	3.695290000000000e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
3.778099999999999e+01	5.551299999999955e+01	3.762659999999996e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-1.680920000000001e+02	8.183199999999965e+01	3.884500000000005e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-5.507099999999998e+01	-2.842600000000045e+01	3.833009999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-6.224499999999997e+01	7.009999999995677e-01	3.884499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-7.184699999999994e+01	6.876499999999958e+01	3.844010000000007e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-1.8039000000000012e+01	-2.069320000000007e+02	3.884499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.862999999999911e+00	-1.749300000000006e+02	3.830589999999997e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-3.2219000000000008e+01	-1.057850000000004e+02	3.884499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
5.9499999999999820e-01	-5.899300000000045e+01	3.833290000000001e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-1.714399999999995e+01	-5.3330000000000446e+00	3.873039999999997e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-8.065999999999972e+00	3.406299999999953e+01	3.884499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
2.919099999999995e+01	-1.370390000000004e+02	3.884499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
3.724899999999995e+01	-1.176970000000005e+02	3.884499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.591000000000000e+01	-2.844600000000044e+01	3.876379999999998e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
3.974499999999997e+01	-3.9030000000000480e+00	3.861320000000001e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.728800000000004e+01	2.782499999999953e+01	3.805989999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
7.095099999999993e+01	3.360199999999947e+01	3.884499999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
8.785200000000004e+01	8.350499999999953e+01	3.884500000000005e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.543720000000001e+02	6.246999999999942e+01	3.884500000000005e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.933810000000000e+02	1.166879999999995e+02	3.884500000000005e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00

0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-6.5000000000000000e+01	1.8000000000000000e+02	0.0000000000000000e+00	9.0000000000000000e+01
5.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	8.0000000000000000e+01	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.0264436000000000e-05	-1.7390349999999999e-05	-1.5893610000000000e-05	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.4349784000000001e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.2334012000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-7.5764454000000004e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
7.3857813999999997e-09	-1.1143612000000001e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.7058691000000002e-08	6.6116234999999996e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.7296420000000000e-08	-2.1380734999999999e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-6.0047665000000005e-10	1.3856907000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.2178158999999999e-08	-1.4950508000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
3.7283100000000000e-10	8.0287086999999997e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
9.7385358999999999e-12	3.1214676999999998e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.5862495000000000e-11	1.7125956000000000e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.4244830000000000e-11	7.9404674999999996e-10	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.3799116000000000e-11	2.4661417999999999e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.7420764000000001e-11	-4.0029901999999997e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
8.3549699000000002e-12	-6.8563664999999997e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-4.7796210000000004e-12	-1.7782027999999999e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.2634291000000000e-11	7.6640233000000008e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.1886736000000001e-12	8.3449432999999997e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-7.8549493000000005e-06	-1.2440839000000000e-05	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-8.4801681999999996e-06	1.5544839000000001e-05
-3.5696299999999999e-03	7.9231983999999995e-03	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-3.4608906000000001e-03	4.9648673999999995e-04
-8.0166696000000002e-05	-1.1810259000000000e-04	-3.5085005000000001e-05	8.2595164000000000e-05	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.6524189999999999e-05	2.3790331000000000e-05	-1.0452509000000000e-04	-8.7017409000000006e-06	NaN	NaN
9.5940866999999998e-06	-4.3001367000000001e-04	-1.1474721000000000e-05	-3.0115863000000002e-04	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
4.4776537999999998e-04	1.1424280000000000e-03	3.3413690999999997e-05	7.4729471999999996e-04	NaN	NaN
-5.3623212000000005e-04	9.1167232000000000e-04	-6.0421458000000001e-04	-3.2695798000000001e-05	NaN	NaN
-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
-6.9460177000000005e-04	-6.7034129999999996e-04	5.6443601000000004e-04	8.4806476999999998e-07	NaN	NaN
1.1390517000000000e-05	-2.7039948999999999e-05	-5.9038303000000003e-06	9.2082453000000006e-06	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
2.4966451000000002e-05	2.8442733000000002e-05	-5.9212127000000002e-05	-1.1756360000000000e-05	NaN	NaN
-2.0301337000000001e-06	-4.8062964999999997e-08	1.5455244000000001e-06	1.3344890000000000e-06	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.2859893000000000e-06	-3.9738208000000000e-06	3.2946456000000001e-07	-4.9641656000000004e-06	NaN	NaN
3.3320165000000002e-06	-6.3235852000000004e-06	-1.6495108000000000e-06	2.8278222999999998e-07	NaN	NaN
-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.7610498000000000e-06	-3.6201267000000002e-06	1.6359915999999999e-06	7.5279115000000000e-07	NaN	NaN
9.9312429695728994e+00	-2.1136594561821237e+01	3.5157817247185534e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.4316800417460428e+01	4.6334596130877600e+01	3.5918027695238925e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

[illegible]

4.5515999999999998e+01	2.3874999999999950e+01	3.8828300000000002e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
4.5241999999999997e+01	3.7599999999999952e+01	3.8179500000000002e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
6.2057000000000002e+01	-4.9916000000000054e+01	3.9757799999999997e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
7.2424000000000007e+01	4.8065999999999946e+01	3.9097800000000001e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.3134700000000001e+02	4.8811999999999941e+01	3.9231999999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.1903000000000000e+02	8.8329999999999941e+01	3.9358799999999997e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.7129599999999999e+02	1.1577099999999994e+02	3.9721400000000006e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-1.5095200000000000e+02	4.1445999999999955e+01	4.0844999999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-1.6842800000000000e+02	7.9740999999999957e+01	4.0757700000000000e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-1.2010800000000000e+02	-2.9510000000000431e+00	4.0844999999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-1.0211600000000000e+02	5.7946999999999960e+01	4.0844999999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-1.0756800000000000e+02	9.7357999999999961e+01	4.0274599999999998e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-6.9069000000000003e+01	-9.9709000000000060e+01	4.0844999999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-5.5902999999999999e+01	-1.9589000000000045e+01	4.0226599999999996e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-8.6727999999999994e+01	6.7914999999999935e+01	4.0845000000000005e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-1.6923000000000009e+01	-1.9540500000000006e+02	4.0100999999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-2.3900000000000086e+00	-1.4658800000000005e+02	4.0844999999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-8.6250000000000071e+00	-1.2438600000000005e+02	4.0844999999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-1.8065000000000005e+01	-4.5510000000000055e+01	4.0844999999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-1.1419000000000000e+01	-6.9890000000000461e+00	4.0844999999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
-1.9659999999999977e+00	2.6271999999999949e+01	4.0300500000000000e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
3.5586999999999989e+01	-2.0300900000000004e+02	4.0157700000000000e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
2.6685999999999993e+01	-1.3669400000000005e+02	4.0106599999999997e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
3.5357999999999990e+01	-7.5008000000000038e+01	4.0185699999999997e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.6832999999999995e+01	-6.2127000000000045e+01	3.9976999999999998e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
5.1676000000000002e+01	1.9290999999999994e+01	4.0595599999999996e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
4.0170000000000002e+01	2.7485999999999947e+01	4.0844999999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
3.8782000000000004e+01	9.1582999999999942e+01	4.0623199999999997e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
8.5855999999999995e+01	-6.8143000000000058e+01	4.0844999999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
8.7176000000000002e+01	-1.7942000000000050e+01	4.0844999999999999e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
6.2577000000000005e+01	7.4129999999999939e+01	4.0845000000000005e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.1591500000000001e+02	1.9422999999999941e+01	4.0337000000000000e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.2244600000000000e+02	2.8457999999999942e+01	4.0677999999999997e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.1839600000000000e+02	7.9636999999999944e+01	4.0585000000000002e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.2426900000000002e+02	1.3528999999999996e+02	4.0845000000000005e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.9401700000000000e+02	8.3489999999999952e+01	3.9964400000000001e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
1.7509500000000000e+02	1.4995399999999995e+02	4.0845000000000005e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00
2.0819700000000000e+02	9.6267999999999944e+01	4.0429700000000003e+02	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00

TFM_ensayo_XYZ_2.txt

0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	-6.500000000000000e+01	1.800000000000000e+02	0.000000000000000e+00	9.000000000000000e+01
5.000000000000000e+01	0.000000000000000e+00	6.000000000000000e+01	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00	0.000000000000000e+00

2.0264436000000000e-05	-1.7390349999999999e-05	-1.5893610000000000e-05	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.4349784000000001e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	1.2334012000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-7.5764454000000004e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
7.3857813999999997e-09	-1.1143612000000001e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.7058691000000002e-08	6.6116234999999996e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.7296420000000000e-08	-2.1380734999999999e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-6.0047665000000005e-10	1.3856907000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.2178158999999999e-08	-1.4950508000000000e-05	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
3.7283100000000000e-10	8.0287086999999997e-06	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
9.7385358999999999e-12	3.1214676999999998e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.5862495000000000e-11	1.7125956000000000e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.4244830000000000e-11	7.9404674999999996e-10	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.3799116000000000e-11	2.4661417999999999e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.7420764000000001e-11	-4.0029901999999997e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
8.3549699000000002e-12	-6.8563664999999997e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-4.7796210000000004e-12	-1.7782027999999999e-08	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
1.2634291000000000e-11	7.6640233000000008e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-1.1886736000000001e-12	8.3449432999999997e-09	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN	NaN
-7.8549493000000005e-06	-1.2440839000000000e-05	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-8.4801681999999996e-06	1.5544839000000001e-05
-3.5696299999999999e-03	7.9231983999999995e-03	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-3.4608906000000001e-03	4.9648673999999995e-04
-8.0166696000000002e-05	-1.1810259000000000e-04	-3.5085005000000001e-05	8.2595164000000000e-05	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.6524189999999999e-05	2.3790331000000000e-05	-1.0452509000000000e-04	-8.7017409000000006e-06	NaN	NaN
9.5940866999999998e-06	-4.3001367000000001e-04	-1.1474721000000000e-05	-3.0115863000000002e-04	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
4.4776537999999998e-04	1.1424280000000000e-03	3.3413690999999997e-05	7.4729471999999996e-04	NaN	NaN
-5.3623212000000005e-04	9.1167232000000000e-04	-6.0421458000000001e-04	-3.2695798000000001e-05	NaN	NaN
-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
-6.9460177000000005e-04	-6.7034129999999996e-04	5.6443601000000004e-04	8.4806476999999998e-07	NaN	NaN
1.1390517000000000e-05	-2.7039948999999999e-05	-5.9038303000000003e-06	9.2082453000000006e-06	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
2.4966451000000002e-05	2.8442733000000002e-05	-5.9212127000000002e-05	-1.1756360000000000e-05	NaN	NaN
-2.0301337000000001e-06	-4.8062964999999997e-08	1.5455244000000001e-06	1.3344890000000000e-06	NaN	NaN
0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.2859893000000000e-06	-3.9738208000000000e-06	3.2946456000000001e-07	-4.9641656000000004e-06	NaN	NaN
3.3320165000000002e-06	-6.3235852000000004e-06	-1.6495108000000000e-06	2.8278222999999998e-07	NaN	NaN
-0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	-0.0000000000000000e+00	NaN	NaN
1.7610498000000000e-06	-3.6201267000000002e-06	1.6359915999999999e-06	7.5279115000000000e-07	NaN	NaN
-2.0404182342944026e+01	1.7970547259234909e+01	3.5117960734513844e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.0923648114249456e+01	2.4825564540968963e+01	3.4381545963065270e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.1050665850338052e+02	7.5756235118016150e+01	3.7563793134324334e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.2161465671092905e+01	2.4977396065828298e+01	3.6837204773261732e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-4.7638692242115603e+01	4.3912187681111902e+01	3.5979917656731277e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.3671356314289424e+01	-1.3298870060521285e+01	3.7471116627650946e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
7.5484785268336312e+00	-6.4497461552257434e+01	3.6592754566303171e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

1.5780486436378181e+01	-1.0238130496046006e+01	3.6217066842965261e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
9.9579834302305954e+01	7.3967245488839040e+01	3.7723347527424136e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.4839128415435215e+02	8.1490102179574279e+01	3.7920232767113191e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.0761085295548882e+02	7.1658985097944068e+01	3.8122639643946695e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-7.7991278483970859e+01	1.7910480581176049e+01	3.9068973009217979e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.7768224146608809e+01	4.8669428286545198e+01	3.7975769518542450e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.0732715883523364e+01	-1.5853737255492604e+02	3.8966763992470214e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.9525763081804932e+00	-9.6392785961647590e+01	3.8556487724962005e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.0033801098120890e+01	-2.5383981684658426e+01	3.8707670067648132e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-3.1360222922432786e+01	1.0893157118366323e+01	3.8391825551220143e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.0331762144718518e+01	4.3049208444343158e+01	3.8855291693945537e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.1326883692968803e+01	-1.1628683222542023e+02	3.9774386789261871e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.0052082213835924e+01	-2.7469559798976189e+01	3.9733708796495097e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.5514069666678856e+01	2.3873388394532633e+01	3.8827040210988781e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.5237270619410175e+01	3.7598668853500961e+01	3.8178190731685606e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.2055239065146701e+01	-4.9921190393461281e+01	3.9756100901033921e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
7.2423249325442740e+01	4.8065518695679891e+01	3.9096655619301771e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.3134698723032119e+02	4.8814295920575397e+01	3.9230711528372950e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.1902953955136621e+02	8.8328290291608553e+01	3.9357334695594085e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.7129534512603590e+02	1.1576799247321220e+02	3.9719819263098464e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.5095578442249118e+02	4.1451812502814626e+01	4.0844135913069090e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.6843222290637814e+02	7.9742148533296256e+01	4.0756884824701257e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.2010995514462560e+02	-2.9481572060270933e+00	4.0844024347578130e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.0212035132795873e+02	5.7947150655477103e+01	4.0843985282358631e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.0757212295493493e+02	9.7357943734187884e+01	4.0273752982441744e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-6.9069971821345263e+01	-9.9709317995661749e+01	4.0843665984743029e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-5.5908660148172700e+01	-1.9589551723910141e+01	4.0225276528943164e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.6731956180360356e+01	6.7916079490396896e+01	4.0843597234522548e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.6926020930297565e+01	-1.9540787174334378e+02	4.0099039446743234e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-2.3933461688422000e+00	-1.4659392914816826e+02	4.0843269473109467e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-8.6281159130346907e+00	-1.2438899957170285e+02	4.0843533697685291e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.8066817807044508e+01	-4.5510041887690903e+01	4.0843390624801737e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.1425860546262566e+01	-6.9937442959479119e+00	4.0843490279158596e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
-1.9689327009608648e+00	2.6267297170968259e+01	4.0299334114716362e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.5582913600439632e+01	-2.0301458490265347e+02	4.0155707016969382e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.6681952021486872e+01	-1.3669792568860075e+02	4.0621796771078800e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.5353842258250751e+01	-7.5008239253862712e+01	4.0184142363602143e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.6830148309322599e+01	-6.2130638024163368e+01	3.9975377477438155e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
5.1673982240521198e+01	1.9291649346384318e+01	4.0594167983505520e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
4.0164582061314043e+01	2.7485099165137445e+01	4.0843503139189164e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
3.8780707102134130e+01	9.1584603284746535e+01	4.0621796771078800e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
8.5856194763674310e+01	-6.8145623326202511e+01	4.0843417586221074e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
8.7171964571206502e+01	-1.7944723863509349e+01	4.0843538683692231e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
6.2578157831504747e+01	7.4130389739042442e+01	4.0843664023702939e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.1591300687341538e+02	1.9416828619961194e+01	4.0335383520563926e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.2244418510743090e+02	2.8457484634932879e+01	4.0676595360037516e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

1.1839306191832030e+02	7.9635490191614096e+01	4.0583602397734177e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.2426917325865909e+02	1.3529028493757318e+02	4.0843561327842269e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.9401668510543334e+02	8.3488124736585974e+01	3.9962931438649656e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
1.7509374404000593e+02	1.4995366818477120e+02	4.0843569667174131e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
2.0819635111896574e+02	9.6268329437210241e+01	4.0428453737562273e+02	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00

TFM_ensayo_XYZ.ini.txt

0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00
------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

TFM_finales_A.txt

1.677634212356843e-02	-6.091454908946061e-03	-8.000360820496632e-03	4.684083131818438e-03	-6.345983623718215e-03	2.894198406942889e-03	8.306526432899782e-03	-4.897627984784380e-03	3.0000000000000000e-03
-----------------------	------------------------	------------------------	-----------------------	------------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	------------------------

TFM_finales_ABC.txt

-8.921805007993505e-04	1.403208584214981e-04	2.025370447204715e-03	-1.594477675677850e-03	1.025519500503963e-03	-4.772691735850950e-04	2.413497914803560e-03	1.034981245883795e-04	2.3810000000000000e-04
------------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	-----------------------	------------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------

TFM_finales_C.txt

1.091919559301033e-03	-3.413560191783864e-04	2.480782823340629e-03	1.000447602545609e-04	-7.247582656546005e-04	3.308024568294118e-04	-7.099926354134440e-05	7.601125442306757e-04	1.0000000000000000e-04
-----------------------	------------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	-----------------------	------------------------	-----------------------	------------------------

TFM_finales_XYZ.txt

-3.330827166194771e-08	-5.048162857816830e-06	1.574827975396457e-07	1.300535436489621e-05	1.092492289552688e-08	-3.056389925653444e-05	2.076960536216110e-07	-1.621815559587647e-05	2.2500000000000000e-05
------------------------	------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------

TFM_movimientos_A_1.txt

[illegible]

TFM_movimientos_A_2.txt

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-5.6125000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-5.5125000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.8029000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.4062000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-3.9200000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-3.3626000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.8457000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.5910000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.1151000e+01	0.0000000e+00	1.0166700e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.0688000e+01	0.0000000e+00	1.1518300e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.0238000e+01	0.0000000e+00	1.8000000e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-7.5590000e+00	0.0000000e+00	-1.7415400e+02	0.0000000e+00	1.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-7.5590000e+00	0.0000000e+00	-1.7315400e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.9280000e+00	0.0000000e+00	-1.1309100e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.0420000e+00	0.0000000e+00	-7.4168000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	6.7100000e-01	0.0000000e+00	-5.8291000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.0590000e+00	0.0000000e+00	-7.2280000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.7770000e+00	0.0000000e+00	3.6019000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.1400000e+00	0.0000000e+00	7.2826000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	6.9620000e+00	0.0000000e+00	1.5386400e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	7.1030000e+00	0.0000000e+00	1.7867700e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.2489000e+01	0.0000000e+00	-1.5961200e+02	0.0000000e+00	1.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.2489000e+01	0.0000000e+00	-1.5861200e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.4169000e+01	0.0000000e+00	-1.2995200e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.7073000e+01	0.0000000e+00	-7.5225000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.7213000e+01	0.0000000e+00	-6.3443000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.0305000e+01	0.0000000e+00	-1.6194000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.2702000e+01	0.0000000e+00	2.4765000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.5312000e+01	0.0000000e+00	7.3168000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.7256000e+01	0.0000000e+00	1.3421600e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.8561000e+01	0.0000000e+00	1.6306200e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.0501000e+01	0.0000000e+00	-1.8100000e+02	0.0000000e+00	1.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.0501000e+01	0.0000000e+00	-1.8000000e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.1534000e+01	0.0000000e+00	-1.4104600e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.2517000e+01	0.0000000e+00	-7.2920000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.4635000e+01	0.0000000e+00	-6.7297000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.1632000e+01	0.0000000e+00	-1.8521000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.4633000e+01	0.0000000e+00	3.7624000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.4956000e+01	0.0000000e+00	8.1000000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.7449000e+01	0.0000000e+00	1.1581100e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.9148000e+01	0.0000000e+00	1.8000000e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.2525000e+01	0.0000000e+00	-1.8028700e+02	0.0000000e+00	1.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.2525000e+01	0.0000000e+00	-1.7928700e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.4590000e+01	0.0000000e+00	-1.5071700e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.4861000e+01	0.0000000e+00	-1.1008100e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.7892000e+01	0.0000000e+00	-5.9079000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	6.1065000e+01	0.0000000e+00	-2.2332000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	6.1214000e+01	0.0000000e+00	6.1306000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	6.1706000e+01	0.0000000e+00	8.4451000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	6.3442000e+01	0.0000000e+00	1.2792600e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00

0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-5.882900e+01	0.000000e+00	-5.953900e+01	0.000000e+00	1.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-5.782900e+01	0.000000e+00	-5.853900e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-5.704500e+01	0.000000e+00	2.027400e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-5.443400e+01	0.000000e+00	4.632400e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-5.315800e+01	0.000000e+00	8.798700e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-5.251800e+01	0.000000e+00	1.322750e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-5.229900e+01	0.000000e+00	1.608000e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-4.640700e+01	0.000000e+00	-1.810000e+02	0.000000e+00	1.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-4.640700e+01	0.000000e+00	-1.800000e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-4.584400e+01	0.000000e+00	-1.174580e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-4.498800e+01	0.000000e+00	-8.101300e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-4.358200e+01	0.000000e+00	-5.564200e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-4.185000e+01	0.000000e+00	2.067400e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-3.790300e+01	0.000000e+00	6.018500e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-3.695000e+01	0.000000e+00	1.105290e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-3.509300e+01	0.000000e+00	1.395900e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-3.300900e+01	0.000000e+00	1.800000e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-2.447700e+01	0.000000e+00	-1.769700e+02	0.000000e+00	1.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-2.447700e+01	0.000000e+00	-1.759700e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-2.430600e+01	0.000000e+00	-1.245370e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-1.896800e+01	0.000000e+00	-1.001890e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-1.593000e+01	0.000000e+00	-2.306800e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-1.430000e+01	0.000000e+00	-1.229600e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-1.408300e+01	0.000000e+00	4.348300e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-1.304900e+01	0.000000e+00	9.038900e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-1.296400e+01	0.000000e+00	1.221550e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-1.147900e+01	0.000000e+00	1.680660e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-9.774000e+00	0.000000e+00	-1.810000e+02	0.000000e+00	1.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-9.774000e+00	0.000000e+00	-1.800000e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-8.470000e+00	0.000000e+00	-1.236480e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-6.874000e+00	0.000000e+00	-1.059770e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	-5.506000e+00	0.000000e+00	-5.820100e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	3.480000e-01	0.000000e+00	-1.077900e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	3.829000e+00	0.000000e+00	3.700700e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	4.304000e+00	0.000000e+00	7.696400e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	4.478000e+00	0.000000e+00	1.427660e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	5.053000e+00	0.000000e+00	1.800000e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	1.246900e+01	0.000000e+00	-1.810000e+02	0.000000e+00	1.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	1.246900e+01	0.000000e+00	-1.800000e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	1.290400e+01	0.000000e+00	-1.393240e+02	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	1.809900e+01	0.000000e+00	-9.878600e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	2.240400e+01	0.000000e+00	-6.509100e+01	1.000000e+00	0.000000e+00
0.000000e+00	0.000000e+00	5.000000e+02	2.568200e+01	0.000000e+00	-5.235000e+00	1.000000e+00	0.000000e+00

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.7702000e+01	0.0000000e+00	4.8926000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.8919000e+01	0.0000000e+00	1.1243000e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.9198000e+01	0.0000000e+00	1.2707400e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.9912000e+01	0.0000000e+00	1.7941800e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.2028000e+01	0.0000000e+00	-1.8100000e+02	0.0000000e+00	1.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.2028000e+01	0.0000000e+00	-1.8000000e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.2752000e+01	0.0000000e+00	-1.2502000e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.3872000e+01	0.0000000e+00	-1.0746400e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.6940000e+01	0.0000000e+00	-6.3624000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.8094000e+01	0.0000000e+00	1.6903000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.0812000e+01	0.0000000e+00	5.1279000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.2272000e+01	0.0000000e+00	1.1114600e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.2872000e+01	0.0000000e+00	1.4103600e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.3934000e+01	0.0000000e+00	1.8000000e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.1344000e+01	0.0000000e+00	-1.8100000e+02	0.0000000e+00	1.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.1344000e+01	0.0000000e+00	-1.8000000e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.1503000e+01	0.0000000e+00	-1.3874200e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.2921000e+01	0.0000000e+00	-6.8256000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.5473000e+01	0.0000000e+00	-5.1386000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00

TFM_movimientos_C_1.txt

[illegible]

[illegible]

TFM_movimientos_C_2.txt

[illegible]

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	2.0529000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	3.3059000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	3.9000000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0739000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.7717000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	7.1065000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	8.4131000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	9.0718000e+01	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0485200e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0518100e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.1960800e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.3003900e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.4214200e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.5190600e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.6492700e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.6768800e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.8000000e+02	1.0000000e+00	0.0000000e+00

TFM_movimientos_XYZ_1.txt

-7.2134000e+01	8.9340000e+00	4.6214300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-7.1134000e+01	9.9340000e+00	4.6314300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-3.6660000e+00	-6.5314000e+01	4.7073900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-3.6660000e+00	-6.4314000e+01	4.7073900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-9.5138000e+01	-4.0348000e+01	4.8795100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-9.4138000e+01	-4.0348000e+01	4.8795100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.5118000e+01	-3.5571000e+01	4.7375900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-5.5118000e+01	-3.5571000e+01	4.7475900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-9.8227000e+01	8.0880000e+00	4.6990800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-9.7227000e+01	8.0880000e+00	4.7090800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.2238000e+01	5.0333000e+01	4.8107900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
5.5130000e+00	3.6781000e+01	4.8781600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
5.5130000e+00	3.7781000e+01	4.8781600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
3.1832000e+01	-1.6909200e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
3.1832000e+01	-1.6809200e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.0000000e+01	-0.0000000e+00	4.9485100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-7.9426000e+01	-5.6071000e+01	4.9485100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-7.8426000e+01	-5.5071000e+01	4.9485100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-4.9299000e+01	-6.3245000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-4.9299000e+01	-6.2245000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
1.8765000e+01	-7.2847000e+01	4.9495100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
1.8765000e+01	-7.1847000e+01	4.9595100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00

-2.5793200e+02	-1.8039000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-2.5693200e+02	-1.8039000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.2493000e+02	1.8630000e+00	4.9360900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-2.2493000e+02	1.8630000e+00	4.9460900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.5578500e+02	-3.3219000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-1.5578500e+02	-3.2219000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.0899300e+02	5.9500000e-01	4.9387900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-1.0899300e+02	5.9500000e-01	4.9487900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.5333000e+01	-1.8144000e+01	4.9885400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-5.5333000e+01	-1.7144000e+01	4.9885400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.5937000e+01	-8.0660000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.8803900e+02	2.9191000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-1.8703900e+02	2.9191000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.6769700e+02	3.7249000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-7.8446000e+01	1.4910000e+01	4.9818800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-7.8446000e+01	1.5910000e+01	4.9918800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.3903000e+01	3.9745000e+01	4.9668200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-5.3903000e+01	3.9745000e+01	4.9768200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.2175000e+01	1.6288000e+01	4.9114900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-2.2175000e+01	1.7288000e+01	4.9214900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.6398000e+01	7.0951000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
3.3505000e+01	8.7852000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
1.1470000e+01	1.5437200e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
1.2470000e+01	1.5437200e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
6.6688000e+01	1.9338100e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00

TFM_movimientos_XYZ.2.txt

-3.3032000e+01	-2.1400000e+01	4.4174100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-3.2032000e+01	-2.0400000e+01	4.4274100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-4.8515000e+01	2.0929000e+01	4.3437900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-4.7515000e+01	2.0929000e+01	4.3537900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
2.5754000e+01	-1.1149900e+02	4.6719800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
2.5754000e+01	-1.1049900e+02	4.6719800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.6022000e+01	-6.2157000e+01	4.5893300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-2.5022000e+01	-6.2157000e+01	4.5993300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-6.0890000e+00	-4.7634000e+01	4.5036100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-6.0890000e+00	-4.7634000e+01	4.5136100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-6.4299000e+01	-1.3667000e+01	4.6627300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-6.3299000e+01	-1.3667000e+01	4.6627300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.1549400e+02	7.5540000e+00	4.5649300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-1.1449400e+02	7.5540000e+00	4.5749300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00

-6.0240000e+01	1.5783000e+01	4.5273400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-6.0240000e+01	1.5783000e+01	4.5373400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
2.3968000e+01	9.9582000e+01	4.6879800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.0000000e+01	-0.0000000e+00	4.7076100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3.1487000e+01	-1.4938900e+02	4.7076100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
3.1487000e+01	-1.4838900e+02	4.7076100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
2.0654000e+01	-1.0760800e+02	4.7278600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
2.1654000e+01	-1.0760800e+02	4.7278600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-3.3091000e+01	-7.7990000e+01	4.8225000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-3.2091000e+01	-7.7990000e+01	4.8225000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.3260000e+00	-5.7762000e+01	4.7031500e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-1.3260000e+00	-5.7762000e+01	4.7131500e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.0953000e+02	-1.0729000e+01	4.8123400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-2.0853000e+02	-1.0729000e+01	4.8123400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.4639500e+02	4.9560000e+00	4.7612900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-1.4639500e+02	4.9560000e+00	4.7712900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-7.5382000e+01	-2.1030000e+01	4.7864000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-7.5382000e+01	-2.0030000e+01	4.7864000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-3.9107000e+01	-3.2355000e+01	4.7448100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-3.9107000e+01	-3.1355000e+01	4.7548100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-6.9500000e+00	-1.0329000e+01	4.8011600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.6728300e+02	3.1328000e+01	4.8931200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-1.6628300e+02	3.1328000e+01	4.8931200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-7.7469000e+01	2.9058000e+01	4.8790300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-7.7469000e+01	3.0058000e+01	4.8890300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.6125000e+01	4.5516000e+01	4.7883300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-2.6125000e+01	4.5516000e+01	4.7983300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.2400000e+01	4.4242000e+01	4.7234500e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-1.2400000e+01	4.5242000e+01	4.7334500e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.0091600e+02	6.2057000e+01	4.8912800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-9.9916000e+01	6.2057000e+01	4.8912800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.9340000e+00	7.2424000e+01	4.8152800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-1.9340000e+00	7.2424000e+01	4.8252800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.1880000e+00	1.3134700e+02	4.8387000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
3.8330000e+01	1.1803000e+02	4.8513800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
3.8330000e+01	1.1903000e+02	4.8513800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
6.5771000e+01	1.7129600e+02	4.8876400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-9.5540000e+00	-1.5195200e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-8.5540000e+00	-1.5095200e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
2.9741000e+01	-1.6942800e+02	4.9812700e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
2.9741000e+01	-1.6842800e+02	4.9912700e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.3951000e+01	-1.2010800e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-5.2951000e+01	-1.2010800e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
7.9470000e+00	-1.0211600e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
4.7358000e+01	-1.0856800e+02	4.9329600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
4.7358000e+01	-1.0756800e+02	4.9429600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00

-1.5070900e+02	-6.9069000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-1.4970900e+02	-6.9069000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-6.9589000e+01	-5.5903000e+01	4.9281600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-6.9589000e+01	-5.5903000e+01	4.9381600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
1.7915000e+01	-8.7728000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
1.7915000e+01	-8.6728000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.4640500e+02	-1.6923000e+01	4.9156000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-2.4540500e+02	-1.6923000e+01	4.9256000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.9658800e+02	-2.3900000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.7438600e+02	-9.6250000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-1.7438600e+02	-8.6250000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-9.5510000e+01	-1.9065000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-9.5510000e+01	-1.8065000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.6989000e+01	-1.1419000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.3728000e+01	-1.9660000e+00	4.9355500e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-2.3728000e+01	-1.9660000e+00	4.9455500e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.5400900e+02	3.5587000e+01	4.9212700e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-2.5300900e+02	3.5587000e+01	4.9312700e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.8669400e+02	2.5686000e+01	4.9161600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-1.8669400e+02	2.6686000e+01	4.9261600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.2500800e+02	3.5358000e+01	4.9340700e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.1212700e+02	1.5833000e+01	4.9032000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-1.1212700e+02	1.6833000e+01	4.9132000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-3.0709000e+01	5.1676000e+01	4.9750600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.2514000e+01	3.9170000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-2.2514000e+01	4.0170000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
4.1583000e+01	3.7782000e+01	4.9678200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
4.1583000e+01	3.8782000e+01	4.9778200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.1914300e+02	8.5856000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-1.1814300e+02	8.5856000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-6.7942000e+01	8.7176000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
2.4130000e+01	6.1577000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
2.4130000e+01	6.2577000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-3.1577000e+01	1.1591500e+02	4.9392000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
-3.0577000e+01	1.1591500e+02	4.9492000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.1542000e+01	1.2244600e+02	4.9833000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
2.9637000e+01	1.1739600e+02	4.9640000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
2.9637000e+01	1.1839600e+02	4.9740000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
8.5290000e+01	1.2426900e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
3.2490000e+01	1.9401700e+02	4.9019400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
3.3490000e+01	1.9401700e+02	4.9119400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
9.9954000e+01	1.7409500e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
9.9954000e+01	1.7509500e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
4.5268000e+01	2.0819700e+02	4.9484700e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00

4.6268000e+01	2.0819700e+02	4.9584700e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

TFM_nube_A.1.txt

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-6.2529000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-6.0914000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-5.3830000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.8422000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.5423000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.0267000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-3.4619000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.8687000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.4405000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.0926000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.3492000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-8.6840000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-6.2710000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.7000000e-02	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.2350000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	8.1480000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.5803000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.7866000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.3508000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.1754000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.5479000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.0887000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.7325000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.1527000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.6255000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	6.1492000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	6.3869000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00

TFM_nube_A.2.txt

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-5.5125000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.8029000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.4062000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-3.9200000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-3.3626000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.8457000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.5910000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.2452000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.2929000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.2012000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-3.1780000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.2890000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	6.8250000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.0869000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.5281000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.9757000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.4150000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.7940000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.4158000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.1740000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.2908000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.8200000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.3936000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00

TFM_nube_ABC_1.txt

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-6.1904000e+01	0.0000000e+00	-2.2104000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-6.1479000e+01	0.0000000e+00	3.4886000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-5.5236000e+01	0.0000000e+00	1.0542100e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-5.3234000e+01	0.0000000e+00	1.3721300e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-5.1802000e+01	0.0000000e+00	1.7043500e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.9895000e+01	0.0000000e+00	-1.5987800e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.9542000e+01	0.0000000e+00	-1.2005600e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.9032000e+01	0.0000000e+00	-7.3140000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.7770000e+01	0.0000000e+00	-4.7849000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.7144000e+01	0.0000000e+00	-1.2749000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.0464000e+01	0.0000000e+00	2.5817000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-3.8646000e+01	0.0000000e+00	1.0939700e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-3.7594000e+01	0.0000000e+00	1.3927600e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-3.0798000e+01	0.0000000e+00	1.8000000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.3252000e+01	0.0000000e+00	-1.6693800e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.0931000e+01	0.0000000e+00	-1.2282900e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.7752000e+01	0.0000000e+00	-1.0045200e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.5146000e+01	0.0000000e+00	-5.8645000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.2578000e+01	0.0000000e+00	-2.5560000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.1800000e+01	0.0000000e+00	5.8149000e+01

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.1151000e+01	0.0000000e+00	1.0166700e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.0688000e+01	0.0000000e+00	1.1518300e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.0238000e+01	0.0000000e+00	1.8000000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-7.5590000e+00	0.0000000e+00	-1.7315400e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.9280000e+00	0.0000000e+00	-1.1309100e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.0420000e+00	0.0000000e+00	-7.4168000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	6.7100000e-01	0.0000000e+00	-5.8291000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.0590000e+00	0.0000000e+00	-7.2280000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.7770000e+00	0.0000000e+00	3.6019000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.1400000e+00	0.0000000e+00	7.2826000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	6.9620000e+00	0.0000000e+00	1.5386400e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	7.1030000e+00	0.0000000e+00	1.7867700e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.2489000e+01	0.0000000e+00	-1.5861200e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.4169000e+01	0.0000000e+00	-1.2995200e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.7073000e+01	0.0000000e+00	-7.5225000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.7213000e+01	0.0000000e+00	-6.3443000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.0305000e+01	0.0000000e+00	-1.6194000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.2702000e+01	0.0000000e+00	2.4765000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.5312000e+01	0.0000000e+00	7.3168000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.7256000e+01	0.0000000e+00	1.3421600e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.8561000e+01	0.0000000e+00	1.6306200e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.0501000e+01	0.0000000e+00	-1.8000000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.1534000e+01	0.0000000e+00	-1.4104600e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.2517000e+01	0.0000000e+00	-7.2920000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.4635000e+01	0.0000000e+00	-6.7297000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.1632000e+01	0.0000000e+00	-1.8521000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.4633000e+01	0.0000000e+00	3.7624000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.4956000e+01	0.0000000e+00	8.1000000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.7449000e+01	0.0000000e+00	1.1581100e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.9148000e+01	0.0000000e+00	1.8000000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.2525000e+01	0.0000000e+00	-1.7928700e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.4590000e+01	0.0000000e+00	-1.5071700e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.4861000e+01	0.0000000e+00	-1.1008100e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.7892000e+01	0.0000000e+00	-5.9079000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	6.1065000e+01	0.0000000e+00	-2.2332000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	6.1214000e+01	0.0000000e+00	6.1306000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	6.1706000e+01	0.0000000e+00	8.4451000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	6.3442000e+01	0.0000000e+00	1.2792600e+02

TFM_nube_ABC.2.txt

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-5.7829000e+01	0.0000000e+00	-5.8539000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-5.7045000e+01	0.0000000e+00	2.0274000e+01

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-5.4434000e+01	0.0000000e+00	4.6324000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-5.3158000e+01	0.0000000e+00	8.7987000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-5.2518000e+01	0.0000000e+00	1.3227500e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-5.2299000e+01	0.0000000e+00	1.6080000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.6407000e+01	0.0000000e+00	-1.8000000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.5844000e+01	0.0000000e+00	-1.1745800e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.4988000e+01	0.0000000e+00	-8.1013000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.3582000e+01	0.0000000e+00	-5.5642000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-4.1850000e+01	0.0000000e+00	2.0674000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-3.7903000e+01	0.0000000e+00	6.0185000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-3.6950000e+01	0.0000000e+00	1.1052900e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-3.5093000e+01	0.0000000e+00	1.3959000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-3.3009000e+01	0.0000000e+00	1.8000000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.4477000e+01	0.0000000e+00	-1.7597000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-2.4306000e+01	0.0000000e+00	-1.2453700e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.8968000e+01	0.0000000e+00	-1.0018900e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.5930000e+01	0.0000000e+00	-2.3068000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.4300000e+01	0.0000000e+00	-1.2296000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.4083000e+01	0.0000000e+00	4.3483000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.3049000e+01	0.0000000e+00	9.0389000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.2964000e+01	0.0000000e+00	1.2215500e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-1.1479000e+01	0.0000000e+00	1.6806600e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-9.7740000e+00	0.0000000e+00	-1.8000000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-8.4700000e+00	0.0000000e+00	-1.2364800e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-6.8740000e+00	0.0000000e+00	-1.0597700e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	-5.5060000e+00	0.0000000e+00	-5.8201000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.4800000e-01	0.0000000e+00	-1.0779000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.8290000e+00	0.0000000e+00	3.7007000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.3040000e+00	0.0000000e+00	7.6964000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.4780000e+00	0.0000000e+00	1.4276600e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.0530000e+00	0.0000000e+00	1.8000000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.2469000e+01	0.0000000e+00	-1.8000000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.2904000e+01	0.0000000e+00	-1.3932400e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	1.8099000e+01	0.0000000e+00	-9.8786000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.2404000e+01	0.0000000e+00	-6.5091000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.5682000e+01	0.0000000e+00	-5.2350000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.7702000e+01	0.0000000e+00	4.8926000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.8919000e+01	0.0000000e+00	1.1243000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.9198000e+01	0.0000000e+00	1.2707400e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	2.9912000e+01	0.0000000e+00	1.7941800e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.2028000e+01	0.0000000e+00	-1.8000000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.2752000e+01	0.0000000e+00	-1.2502000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.3872000e+01	0.0000000e+00	-1.0746400e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.6940000e+01	0.0000000e+00	-6.3624000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	3.8094000e+01	0.0000000e+00	1.6903000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.0812000e+01	0.0000000e+00	5.1279000e+01

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.2272000e+01	0.0000000e+00	1.1114600e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.2872000e+01	0.0000000e+00	1.4103600e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	4.3934000e+01	0.0000000e+00	1.8000000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.1344000e+01	0.0000000e+00	-1.8000000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.1503000e+01	0.0000000e+00	-1.3874200e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.2921000e+01	0.0000000e+00	-6.8256000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	5.5473000e+01	0.0000000e+00	-5.1386000e+01

TFM_nube_C.1.txt

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.8000000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.6950500e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.5849300e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.4886900e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.3748100e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.3337400e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.1727000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.0728500e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-9.6454000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-8.9573000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-7.9057000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-7.2369000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-6.0043000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-4.5086000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-4.3654000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-3.1693000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-2.4849000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-6.8960000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	2.2760000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.3010000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.9002000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	3.3194000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	4.1922000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.4153000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	6.1415000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	7.1613000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	7.5135000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	9.3636000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	9.6881000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0764700e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.1681200e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.3039700e+02

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.4018600e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.5200900e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.6284600e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.6755500e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.8000000e+02

TFM_nube_C.2.txt

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.8000000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.7323400e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.6271100e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.5360500e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.3925300e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.2857800e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.2251000e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.0909800e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.0139300e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-8.7804000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-8.1644000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-7.0220000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-6.2762000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-5.0756000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-3.8782000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-3.4087000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-2.3508000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-1.3505000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-4.1120000e+00
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.1780000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	2.0529000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	3.3059000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	3.9000000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0739000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.7717000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	7.1065000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	8.4131000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	9.0718000e+01
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0485200e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0518100e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.1960800e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.3003900e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.4214200e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.5190600e+02

0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.6492700e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.6768800e+02
0.0000000e+00	0.0000000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	1.8000000e+02

TFM_nube_XYZ_1.txt

-7.1134000e+01	9.9340000e+00	4.6314300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-3.6660000e+00	-6.4314000e+01	4.7073900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-9.4138000e+01	-4.0348000e+01	4.8795100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.5118000e+01	-3.5571000e+01	4.7475900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-9.7227000e+01	8.0880000e+00	4.7090800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.2238000e+01	5.0333000e+01	4.8107900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
5.5130000e+00	3.7781000e+01	4.8781600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3.1832000e+01	-1.6809200e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-7.8426000e+01	-5.5071000e+01	4.9485100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-4.9299000e+01	-6.2245000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
1.8765000e+01	-7.1847000e+01	4.9595100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.5693200e+02	-1.8039000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.2493000e+02	1.8630000e+00	4.9460900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.5578500e+02	-3.2219000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.0899300e+02	5.9500000e-01	4.9487900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.5333000e+01	-1.7144000e+01	4.9885400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.5937000e+01	-8.0660000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.8703900e+02	2.9191000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.6769700e+02	3.7249000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-7.8446000e+01	1.5910000e+01	4.9918800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.3903000e+01	3.9745000e+01	4.9768200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.2175000e+01	1.7288000e+01	4.9214900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.6398000e+01	7.0951000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3.3505000e+01	8.7852000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
1.2470000e+01	1.5437200e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
6.6688000e+01	1.9338100e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00

TFM_nube_XYZ_2.txt

-3.2032000e+01	-2.0400000e+01	4.4274100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-4.7515000e+01	2.0929000e+01	4.3537900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
2.5754000e+01	-1.1049900e+02	4.6719800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00

-2.5022000e+01	-6.2157000e+01	4.5993300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-6.0890000e+00	-4.7634000e+01	4.5136100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-6.3299000e+01	-1.3667000e+01	4.6627300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.1449400e+02	7.5540000e+00	4.5749300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-6.0240000e+01	1.5783000e+01	4.5373400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
2.3968000e+01	9.9582000e+01	4.6879800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3.1487000e+01	-1.4838900e+02	4.7076100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
2.1654000e+01	-1.0760800e+02	4.7278600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-3.2091000e+01	-7.7990000e+01	4.8225000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.3260000e+00	-5.7762000e+01	4.7131500e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.0853000e+02	-1.0729000e+01	4.8123400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.4639500e+02	4.9560000e+00	4.7712900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-7.5382000e+01	-2.0030000e+01	4.7864000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-3.9107000e+01	-3.1355000e+01	4.7548100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-6.9500000e+00	-1.0329000e+01	4.8011600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.6628300e+02	3.1328000e+01	4.8931200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-7.7469000e+01	3.0058000e+01	4.8890300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.6125000e+01	4.5516000e+01	4.7983300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.2400000e+01	4.5242000e+01	4.7334500e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-9.9916000e+01	6.2057000e+01	4.8912800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.9340000e+00	7.2424000e+01	4.8252800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.1880000e+00	1.3134700e+02	4.8387000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3.8330000e+01	1.1903000e+02	4.8513800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
6.5771000e+01	1.7129600e+02	4.8876400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-8.5540000e+00	-1.5095200e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
2.9741000e+01	-1.6842800e+02	4.9912700e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.2951000e+01	-1.2010800e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
7.9470000e+00	-1.0211600e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
4.7358000e+01	-1.0756800e+02	4.9429600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.4970900e+02	-6.9069000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-6.9589000e+01	-5.5903000e+01	4.9381600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
1.7915000e+01	-8.6728000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.4540500e+02	-1.6923000e+01	4.9256000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.9658800e+02	-2.3900000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.7438600e+02	-8.6250000e+00	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-9.5510000e+01	-1.8065000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.6989000e+01	-1.1419000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.3728000e+01	-1.9660000e+00	4.9455500e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.5300900e+02	3.5587000e+01	4.9312700e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.8669400e+02	2.6686000e+01	4.9261600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.2500800e+02	3.5358000e+01	4.9340700e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.1212700e+02	1.6833000e+01	4.9132000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-3.0709000e+01	5.1676000e+01	4.9750600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.2514000e+01	4.0170000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
4.1583000e+01	3.8782000e+01	4.9778200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.1814300e+02	8.5856000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00

-6.7942000e+01	8.7176000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
2.4130000e+01	6.2577000e+01	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-3.0577000e+01	1.1591500e+02	4.9492000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.1542000e+01	1.2244600e+02	4.9833000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
2.9637000e+01	1.1839600e+02	4.9740000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
8.5290000e+01	1.2426900e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3.3490000e+01	1.9401700e+02	4.9119400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
9.9954000e+01	1.7509500e+02	5.0000000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
4.6268000e+01	2.0819700e+02	4.9584700e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00

TFM_nubeComp_A.1.txt

-1.0000000e-03	4.0000000e-03	5.0001700e+02	-6.2528000e+01	0.0000000e+00	-2.0000000e-03
-1.0000000e-03	4.0000000e-03	5.0001600e+02	-6.0913000e+01	0.0000000e+00	-2.0000000e-03
-1.0000000e-03	4.0000000e-03	5.0001500e+02	-5.3829000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
-1.0000000e-03	4.0000000e-03	5.0001400e+02	-4.8421000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
-1.0000000e-03	4.0000000e-03	5.0001400e+02	-4.5422000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
0.0000000e+00	5.0000000e-03	5.0001400e+02	-4.0265000e+01	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
1.0000000e-03	4.0000000e-03	5.0001200e+02	-3.4618000e+01	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
1.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001200e+02	-2.8686000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
2.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001200e+02	-2.4404000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001200e+02	-2.0925000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	-1.3491000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	-8.6830000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	-6.2700000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
1.0000000e-03	1.0000000e-03	5.0000100e+02	3.7000000e-02	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001300e+02	3.2350000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001300e+02	8.1480000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
2.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001300e+02	1.5803000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
2.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001300e+02	1.7866000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
1.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001300e+02	2.3507000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
0.0000000e+00	6.0000000e-03	5.0001200e+02	3.1754000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
-0.0000000e+00	6.0000000e-03	5.0001100e+02	3.5479000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
-0.0000000e+00	4.0000000e-03	5.0001200e+02	4.0886000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
-0.0000000e+00	4.0000000e-03	5.0001100e+02	4.7324000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
-0.0000000e+00	4.0000000e-03	5.0001100e+02	5.1526000e+01	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
0.0000000e+00	5.0000000e-03	5.0000900e+02	5.6255000e+01	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
1.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0000900e+02	6.1492000e+01	0.0000000e+00	1.0000000e-03
2.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0000900e+02	6.3868000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00

TFM_nubeComp_A.2.txt

-1.0000000e-03	4.0000000e-03	5.0001500e+02	-5.5124000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
-0.0000000e+00	4.0000000e-03	5.0001400e+02	-4.8028000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
-0.0000000e+00	4.0000000e-03	5.0001400e+02	-4.4061000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
0.0000000e+00	4.0000000e-03	5.0001300e+02	-3.9199000e+01	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
1.0000000e-03	4.0000000e-03	5.0001200e+02	-3.3625000e+01	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
2.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001200e+02	-2.8456000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
2.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001200e+02	-2.5909000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001200e+02	-2.2451000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	-1.2928000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	-1.2011000e+01	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001200e+02	-3.1780000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001300e+02	2.2890000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001300e+02	6.8250000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001300e+02	1.0869000e+01	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001300e+02	1.5281000e+01	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
2.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001300e+02	1.9757000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
1.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	2.4150000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
1.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001200e+02	2.7940000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
1.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001200e+02	3.4157000e+01	0.0000000e+00	-1.0000000e-03
0.0000000e+00	4.0000000e-03	5.0001200e+02	4.1739000e+01	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
0.0000000e+00	4.0000000e-03	5.0001200e+02	4.2907000e+01	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
0.0000000e+00	4.0000000e-03	5.0001100e+02	4.8199000e+01	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
1.0000000e-03	4.0000000e-03	5.0001000e+02	5.3935000e+01	0.0000000e+00	-0.0000000e+00

TFM_nubeComp_ABC.1.txt

2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001300e+02	-6.1907000e+01	0.0000000e+00	-2.2110000e+01
1.0000000e-03	2.0000000e-03	5.0000300e+02	-6.1484000e+01	0.0000000e+00	3.4892000e+01
7.0000000e-03	4.0000000e-03	5.0001400e+02	-5.5235000e+01	0.0000000e+00	1.0543200e+02
4.0000000e-03	3.0000000e-03	5.0000600e+02	-5.3238000e+01	0.0000000e+00	1.3722000e+02
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001200e+02	-5.1804000e+01	0.0000000e+00	1.7044100e+02
0.0000000e+00	6.0000000e-03	5.0001200e+02	-4.9895000e+01	0.0000000e+00	-1.5987500e+02
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001000e+02	-4.9541000e+01	0.0000000e+00	-1.2005800e+02
7.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001200e+02	-4.9032000e+01	0.0000000e+00	-7.3147000e+01
7.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001300e+02	-4.7771000e+01	0.0000000e+00	-4.7858000e+01
4.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001400e+02	-4.7144000e+01	0.0000000e+00	-1.2755000e+01
1.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001400e+02	-4.0461000e+01	0.0000000e+00	2.5818000e+01
5.0000000e-03	1.0000000e-03	5.0000700e+02	-3.8647000e+01	0.0000000e+00	1.0940600e+02
5.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001200e+02	-3.7594000e+01	0.0000000e+00	1.3928500e+02

-0.0000000e+00	6.0000000e-03	5.0001300e+02	-3.0798000e+01	0.0000000e+00	1.8000700e+02
-1.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001300e+02	-2.3251000e+01	0.0000000e+00	-1.6693100e+02
1.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001000e+02	-2.0928000e+01	0.0000000e+00	-1.2282700e+02
4.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001000e+02	-1.7750000e+01	0.0000000e+00	-1.0045300e+02
7.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001200e+02	-1.5146000e+01	0.0000000e+00	-5.8650000e+01
2.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001300e+02	-1.2577000e+01	0.0000000e+00	-2.5570000e+00
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001600e+02	-1.1795000e+01	0.0000000e+00	5.8160000e+01
6.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001400e+02	-1.1148000e+01	0.0000000e+00	1.0168100e+02
7.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001400e+02	-1.0686000e+01	0.0000000e+00	1.1519700e+02
1.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	-1.0238000e+01	0.0000000e+00	1.8000900e+02
0.0000000e+00	7.0000000e-03	5.0001100e+02	-7.5590000e+00	0.0000000e+00	-1.7314500e+02
4.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0000900e+02	-2.9260000e+00	0.0000000e+00	-1.1308900e+02
8.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001100e+02	-2.0410000e+00	0.0000000e+00	-7.4171000e+01
8.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001200e+02	6.7100000e-01	0.0000000e+00	-5.8295000e+01
4.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	1.0590000e+00	0.0000000e+00	-7.2290000e+00
3.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001400e+02	1.7800000e+00	0.0000000e+00	3.6026000e+01
6.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001600e+02	2.1440000e+00	0.0000000e+00	7.2839000e+01
5.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001000e+02	6.9610000e+00	0.0000000e+00	1.5387600e+02
3.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001000e+02	7.1020000e+00	0.0000000e+00	1.7868700e+02
1.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001000e+02	1.2489000e+01	0.0000000e+00	-1.5860500e+02
3.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0000900e+02	1.4170000e+01	0.0000000e+00	-1.2994900e+02
8.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001100e+02	1.7073000e+01	0.0000000e+00	-7.5229000e+01
9.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001200e+02	1.7212000e+01	0.0000000e+00	-6.3448000e+01
5.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	2.0304000e+01	0.0000000e+00	-1.6198000e+01
2.0000000e-03	8.0000000e-03	5.0001200e+02	2.2704000e+01	0.0000000e+00	2.4768000e+01
6.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001400e+02	2.5315000e+01	0.0000000e+00	7.3179000e+01
6.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001100e+02	2.7255000e+01	0.0000000e+00	1.3422700e+02
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001000e+02	2.8559000e+01	0.0000000e+00	1.6307100e+02
1.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001000e+02	3.0500000e+01	0.0000000e+00	-1.7999300e+02
0.0000000e+00	5.0000000e-03	5.0001000e+02	3.1534000e+01	0.0000000e+00	-1.4104300e+02
7.0000000e-03	4.0000000e-03	5.0001100e+02	3.2516000e+01	0.0000000e+00	-7.2926000e+01
7.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001000e+02	3.4634000e+01	0.0000000e+00	-6.7304000e+01
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001000e+02	4.1630000e+01	0.0000000e+00	-1.8527000e+01
0.0000000e+00	6.0000000e-03	5.0001200e+02	4.4634000e+01	0.0000000e+00	3.7629000e+01
4.0000000e-03	8.0000000e-03	5.0001300e+02	4.4958000e+01	0.0000000e+00	8.1011000e+01
6.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001200e+02	4.7448000e+01	0.0000000e+00	1.1582300e+02
-0.0000000e+00	5.0000000e-03	5.0001100e+02	4.9145000e+01	0.0000000e+00	1.8000700e+02
0.0000000e+00	5.0000000e-03	5.0001000e+02	5.2522000e+01	0.0000000e+00	-1.7927900e+02
-0.0000000e+00	4.0000000e-03	5.0001000e+02	5.4588000e+01	0.0000000e+00	-1.5071200e+02
3.0000000e-03	2.0000000e-03	5.0001000e+02	5.4860000e+01	0.0000000e+00	-1.1008100e+02
8.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0000800e+02	5.7890000e+01	0.0000000e+00	-5.9084000e+01
7.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001000e+02	6.1062000e+01	0.0000000e+00	-2.2336000e+01
7.0000000e-03	8.0000000e-03	5.0001400e+02	6.1214000e+01	0.0000000e+00	6.1317000e+01
8.0000000e-03	8.0000000e-03	5.0001300e+02	6.1706000e+01	0.0000000e+00	8.4463000e+01

1.1000000e-02	4.0000000e-03	5.0001000e+02	6.3439000e+01	0.0000000e+00	1.2793900e+02
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

TFM_nubeComp_ABC_2.txt

6.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001200e+02	-5.7831000e+01	0.0000000e+00	-5.8547000e+01
1.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001300e+02	-5.7045000e+01	0.0000000e+00	2.0274000e+01
2.0000000e-03	3.0000000e-03	5.0001400e+02	-5.4432000e+01	0.0000000e+00	4.6329000e+01
5.0000000e-03	2.0000000e-03	5.0001000e+02	-5.3158000e+01	0.0000000e+00	8.7997000e+01
5.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001200e+02	-5.2519000e+01	0.0000000e+00	1.3228400e+02
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001200e+02	-5.2301000e+01	0.0000000e+00	1.6080700e+02
1.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001200e+02	-4.6408000e+01	0.0000000e+00	-1.7999500e+02
3.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001100e+02	-4.5842000e+01	0.0000000e+00	-1.1746000e+02
6.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001100e+02	-4.4987000e+01	0.0000000e+00	-8.1020000e+01
7.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001300e+02	-4.3582000e+01	0.0000000e+00	-5.5651000e+01
1.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001400e+02	-4.1848000e+01	0.0000000e+00	2.0674000e+01
3.0000000e-03	4.0000000e-03	5.0001600e+02	-3.7898000e+01	0.0000000e+00	6.0193000e+01
5.0000000e-03	3.0000000e-03	5.0000900e+02	-3.6951000e+01	0.0000000e+00	1.1053900e+02
4.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001300e+02	-3.5092000e+01	0.0000000e+00	1.3959900e+02
0.0000000e+00	6.0000000e-03	5.0001200e+02	-3.3009000e+01	0.0000000e+00	1.8000600e+02
-0.0000000e+00	6.0000000e-03	5.0001200e+02	-2.4477000e+01	0.0000000e+00	-1.7596300e+02
1.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001000e+02	-2.4303000e+01	0.0000000e+00	-1.2453600e+02
3.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001000e+02	-1.8966000e+01	0.0000000e+00	-1.0019000e+02
4.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001200e+02	-1.5930000e+01	0.0000000e+00	-2.3072000e+01
3.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	-1.4300000e+01	0.0000000e+00	-1.2299000e+01
1.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001500e+02	-1.4079000e+01	0.0000000e+00	4.3491000e+01
5.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001500e+02	-1.3045000e+01	0.0000000e+00	9.0403000e+01
6.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001300e+02	-1.2963000e+01	0.0000000e+00	1.2216900e+02
2.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	-1.1479000e+01	0.0000000e+00	1.6807600e+02
1.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	-9.7740000e+00	0.0000000e+00	-1.7999000e+02
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001000e+02	-8.4680000e+00	0.0000000e+00	-1.2364500e+02
4.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001000e+02	-6.8720000e+00	0.0000000e+00	-1.0597600e+02
7.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001200e+02	-5.5060000e+00	0.0000000e+00	-5.8206000e+01
4.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	3.4800000e-01	0.0000000e+00	-1.0781000e+01
3.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001400e+02	3.8320000e+00	0.0000000e+00	3.7014000e+01
5.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001600e+02	4.3080000e+00	0.0000000e+00	7.6977000e+01
6.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001100e+02	4.4780000e+00	0.0000000e+00	1.4277900e+02
1.0000000e-03	1.0000000e-03	5.0000100e+02	5.0520000e+00	0.0000000e+00	1.8000900e+02
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001000e+02	1.2468000e+01	0.0000000e+00	-1.7999100e+02
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0000900e+02	1.2905000e+01	0.0000000e+00	-1.3931900e+02
5.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0000900e+02	1.8100000e+01	0.0000000e+00	-9.8787000e+01
8.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001100e+02	2.2403000e+01	0.0000000e+00	-6.5097000e+01
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001100e+02	2.5681000e+01	0.0000000e+00	-5.2380000e+00

3.0000000e-03	8.0000000e-03	5.0001300e+02	2.7705000e+01	0.0000000e+00	4.8933000e+01
6.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	2.8920000e+01	0.0000000e+00	1.1244200e+02
6.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001100e+02	2.9198000e+01	0.0000000e+00	1.2708600e+02
1.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001100e+02	2.9910000e+01	0.0000000e+00	1.7942500e+02
1.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001100e+02	3.2026000e+01	0.0000000e+00	-1.7999300e+02
1.0000000e-03	4.0000000e-03	5.0001000e+02	3.2752000e+01	0.0000000e+00	-1.2501900e+02
3.0000000e-03	4.0000000e-03	5.0000900e+02	3.3873000e+01	0.0000000e+00	-1.0746600e+02
6.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001000e+02	3.6939000e+01	0.0000000e+00	-6.3631000e+01
1.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001100e+02	3.8094000e+01	0.0000000e+00	1.6903000e+01
1.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001300e+02	4.0814000e+01	0.0000000e+00	5.1286000e+01
5.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	4.2272000e+01	0.0000000e+00	1.1115800e+02
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001100e+02	4.2870000e+01	0.0000000e+00	1.4104600e+02
-0.0000000e+00	6.0000000e-03	5.0001000e+02	4.3932000e+01	0.0000000e+00	1.8000700e+02
0.0000000e+00	5.0000000e-03	5.0001100e+02	5.1341000e+01	0.0000000e+00	-1.7999300e+02
0.0000000e+00	4.0000000e-03	5.0001000e+02	5.1502000e+01	0.0000000e+00	-1.3873900e+02
6.0000000e-03	4.0000000e-03	5.0001200e+02	5.2918000e+01	0.0000000e+00	-6.8262000e+01
7.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001200e+02	5.5469000e+01	0.0000000e+00	-5.1393000e+01

TFM_nubeComp_C.1.txt

1.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001100e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.7999400e+02
1.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001100e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.6949900e+02
0.0000000e+00	6.0000000e-03	5.0001000e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.5848700e+02
0.0000000e+00	6.0000000e-03	5.0001000e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.4886300e+02
0.0000000e+00	6.0000000e-03	5.0001000e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.3747600e+02
0.0000000e+00	6.0000000e-03	5.0001000e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.3336900e+02
0.0000000e+00	5.0000000e-03	5.0001000e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.1726600e+02
1.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0000900e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.0728300e+02
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0000900e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	-9.6453000e+01
1.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0000900e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	-8.9572000e+01
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0000900e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	-7.9057000e+01
3.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001000e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	-7.2370000e+01
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001000e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	-6.0045000e+01
4.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001100e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-4.5089000e+01
4.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001100e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-4.3657000e+01
4.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001100e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-3.1695000e+01
4.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001100e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-2.4851000e+01
4.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-6.8970000e+00
3.0000000e-03	8.0000000e-03	5.0001300e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	2.2760000e+00
3.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001300e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	1.3012000e+01
2.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001300e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	1.9004000e+01
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001300e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	3.3198000e+01

2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001400e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	4.1927000e+01
1.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001400e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	5.4159000e+01
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001400e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	6.1422000e+01
1.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001400e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	7.1620000e+01
1.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001400e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	7.5142000e+01
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001500e+02	4.0000000e-03	0.0000000e+00	9.3644000e+01
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001400e+02	4.0000000e-03	0.0000000e+00	9.6889000e+01
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001400e+02	4.0000000e-03	0.0000000e+00	1.0765400e+02
2.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001400e+02	4.0000000e-03	0.0000000e+00	1.1681900e+02
2.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001300e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	1.3040400e+02
2.0000000e-03	8.0000000e-03	5.0001300e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	1.4019300e+02
2.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	1.5201600e+02
2.0000000e-03	8.0000000e-03	5.0001200e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	1.6285300e+02
1.0000000e-03	8.0000000e-03	5.0001100e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	1.6756100e+02
1.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001100e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	1.8000600e+02

TFM_nubeComp_C.2. txt

1.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001100e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.7999400e+02
1.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001100e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.7322800e+02
1.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001000e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.6270500e+02
1.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001000e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.5359900e+02
1.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001000e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.3924800e+02
0.0000000e+00	6.0000000e-03	5.0001000e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.2857300e+02
1.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001000e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.2250600e+02
1.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001000e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.0909500e+02
1.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0000900e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.0139100e+02
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0000900e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	-8.7804000e+01
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0000900e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	-8.1644000e+01
3.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001000e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	-7.0221000e+01
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001000e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	-6.2764000e+01
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001000e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	-5.0758000e+01
4.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001100e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-3.8785000e+01
4.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001100e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-3.4090000e+01
4.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001100e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-2.3510000e+01
4.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-1.3506000e+01
3.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-4.1120000e+00
3.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001300e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	1.1782000e+01
2.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001300e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	2.0531000e+01
2.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001400e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	3.3063000e+01
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001400e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	3.9005000e+01
2.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001400e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	5.0745000e+01

2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001400e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	5.7724000e+01
2.0000000e-03	5.0000000e-03	5.0001400e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	7.1072000e+01
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001500e+02	4.0000000e-03	0.0000000e+00	8.4139000e+01
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001500e+02	4.0000000e-03	0.0000000e+00	9.0726000e+01
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001400e+02	4.0000000e-03	0.0000000e+00	1.0485900e+02
2.0000000e-03	6.0000000e-03	5.0001400e+02	4.0000000e-03	0.0000000e+00	1.0518800e+02
2.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001400e+02	4.0000000e-03	0.0000000e+00	1.1961500e+02
2.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001300e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	1.3004600e+02
2.0000000e-03	8.0000000e-03	5.0001300e+02	3.0000000e-03	0.0000000e+00	1.4214900e+02
2.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001200e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	1.5191300e+02
2.0000000e-03	8.0000000e-03	5.0001100e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	1.6493400e+02
2.0000000e-03	8.0000000e-03	5.0001100e+02	2.0000000e-03	0.0000000e+00	1.6769500e+02
1.0000000e-03	7.0000000e-03	5.0001100e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	1.8000600e+02

TFM_nubeComp_XYZ.1.txt

-7.1135000e+01	9.9350000e+00	4.6315600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-3.6680000e+00	-6.4312000e+01	4.7075000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-9.4137000e+01	-4.0343000e+01	4.8796400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.5119000e+01	-3.5568000e+01	4.7477100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-9.7227000e+01	8.0900000e+00	4.7092200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.2237000e+01	5.0335000e+01	4.8109300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
5.5150000e+00	3.7785000e+01	4.8782900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
3.1827000e+01	-1.6808800e+02	5.0000900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
-7.8425000e+01	-5.5065000e+01	4.9486400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
-4.9298000e+01	-6.2238000e+01	5.0001200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
1.8766000e+01	-7.1841000e+01	4.9596200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.5692800e+02	-1.8036000e+01	5.0002100e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.2492700e+02	1.8650000e+00	4.9462900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.5578200e+02	-3.2214000e+01	5.0001600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
-1.0899100e+02	6.0000000e-01	4.9489400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.5330000e+01	-1.7136000e+01	4.9886700e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.5934000e+01	-8.0580000e+00	5.0001300e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
-1.8703500e+02	2.9195000e+01	5.0001800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.6769300e+02	3.7253000e+01	5.0001700e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-7.8443000e+01	1.5916000e+01	4.9920200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
-5.3900000e+01	3.9750000e+01	4.9769600e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.2173000e+01	1.7293000e+01	4.9216200e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.6395000e+01	7.0956000e+01	5.0001400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3.3508000e+01	8.7855000e+01	5.0001300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
1.2471000e+01	1.5437200e+02	5.0001400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00

6.6687000e+01 1.9337800e+02 5.0001400e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00

TFM_nubeComp_XYZ_2.txt

-3.2035000e+01 -2.0401000e+01 4.4275200e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-4.7518000e+01 2.0926000e+01 4.3539100e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
2.5749000e+01 -1.1049800e+02 4.6720700e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00
-2.5025000e+01 -6.2156000e+01 4.5994400e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-6.0920000e+00 -4.7634000e+01 4.5137200e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00
-6.3300000e+01 -1.3665000e+01 4.6628600e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-1.1449500e+02 7.5540000e+00 4.5750700e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-6.0242000e+01 1.5783000e+01 4.5374700e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
2.3967000e+01 9.9581000e+01 4.6881100e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00
3.1480000e+01 -1.4838900e+02 4.7076900e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00
2.1650000e+01 -1.0760600e+02 4.7279600e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00
-3.2092000e+01 -7.7986000e+01 4.8226100e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-1.3280000e+00 -5.7760000e+01 4.7132600e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00
-2.0852900e+02 -1.0728000e+01 4.8125200e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00
-1.4639400e+02 4.9580000e+00 4.7714500e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00
-7.5382000e+01 -2.0027000e+01 4.7865300e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00
-3.9107000e+01 -3.1352000e+01 4.7549300e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-6.9490000e+00 -1.0326000e+01 4.8012800e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-1.6628100e+02 3.1331000e+01 4.8932900e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00
-7.7467000e+01 3.0062000e+01 4.8891700e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-2.6124000e+01 4.5519000e+01 4.7984600e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00
-1.2400000e+01 4.5244000e+01 4.7335800e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-9.9914000e+01 6.2060000e+01 4.8914300e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-1.9330000e+00 7.2426000e+01 4.8254100e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00
-1.1880000e+00 1.3134600e+02 4.8388400e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
3.8331000e+01 1.1903000e+02 4.8515100e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00
6.5770000e+01 1.7129300e+02 4.8877800e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-8.5580000e+00 -1.5094700e+02 5.0000900e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00
2.9736000e+01 -1.6842400e+02 4.9913600e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-5.2953000e+01 -1.2010200e+02 5.0001100e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
7.9460000e+00 -1.0211000e+02 5.0001000e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
4.7357000e+01 -1.0756400e+02 4.9430600e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-1.4970800e+02 -6.9064000e+01 5.0001500e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-6.9588000e+01 -5.5897000e+01 4.9382900e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
1.7915000e+01 -8.6722000e+01 5.0001100e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-2.4540200e+02 -1.6922000e+01 4.9258000e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 -0.0000000e+00
-1.9658500e+02 -2.3860000e+00 5.0001800e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00
-1.7438300e+02 -8.6200000e+00 5.0001700e+02 0.0000000e+00 0.0000000e+00 0.0000000e+00

-9.5507000e+01	-1.8059000e+01	5.0001400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-5.6986000e+01	-1.1412000e+01	5.0001300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.3726000e+01	-1.9600000e+00	4.9456800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.5300500e+02	3.5587000e+01	4.9314900e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-1.8669100e+02	2.6689000e+01	4.9263400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
-1.2500500e+02	3.5362000e+01	4.9342300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
-1.1212500e+02	1.6837000e+01	4.9133500e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
-3.0706000e+01	5.1681000e+01	4.9752000e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.2511000e+01	4.0176000e+01	5.0001300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
4.1587000e+01	3.8787000e+01	4.9779500e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
-1.1814000e+02	8.5861000e+01	5.0001600e+02	1.0000000e-03	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-6.7939000e+01	8.7180000e+01	5.0001500e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
2.4134000e+01	6.2582000e+01	5.0001300e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-3.0575000e+01	1.1591700e+02	4.9493400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
-2.1540000e+01	1.2244800e+02	4.9834400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
2.9639000e+01	1.1839800e+02	4.9741400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
8.5293000e+01	1.2427000e+02	5.0001400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
3.3488000e+01	1.9401300e+02	4.9120800e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	-0.0000000e+00
9.9955000e+01	1.7509200e+02	5.0001400e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
4.6265000e+01	2.0819300e+02	4.9586100e+02	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00

TFM_resumenResultados_A.1.txt

Promedio de error de medicion en ensayo: 0.012665 mm

Ensayos con errores identificados:

Error de posición: 0.012738 mm

Error de orientación: 0.000028 rad

Error de orientación: 5.699605 arcseg

Ensayos con coordenadas compensadas y errores identificados:

Error de posición: 0.000933 mm

Error de orientación: 0.000021 rad

Error de orientación: 4.239522 arcseg

TFM_resumenResultados_A.2.txt

Promedio de error de medicion en ensayo: 0.012630 mm

Ensayos con errores identificados:
Error de posición: 0.013154 mm
Error de orientación: 0.000024 rad
Error de orientación: 4.936817 arcseg

Ensayos con coordenadas compensadas y errores identificados:
Error de posición: 0.000502 mm
Error de orientación: 0.000018 rad
Error de orientación: 3.668896 arcseg

TFM_resumenResultados_ABC_1.txt

Promedio de error de medicion en ensayo: 0.012462 mm

Ensayos con errores identificados:
Error de posición: 0.012122 mm
Error de orientación: 0.000129 rad
Error de orientación: 26.682801 arcseg

Ensayos con coordenadas compensadas y errores identificados:
Error de posición: 0.000481 mm
Error de orientación: 0.000031 rad
Error de orientación: 6.430189 arcseg

TFM_resumenResultados_ABC_2.txt

Promedio de error de medicion en ensayo: 0.012118 mm

Ensayos con errores identificados:
Error de posición: 0.012052 mm
Error de orientación: 0.000123 rad
Error de orientación: 25.425434 arcseg

Ensayos con coordenadas compensadas y errores identificados:
Error de posición: 0.000663 mm
Error de orientación: 0.000024 rad
Error de orientación: 4.993351 arcseg

TFM_resumenResultados_C_1.txt

Promedio de error de medicion en ensayo: 0.012132 mm

Ensayos con errores identificados:

Error de posición: 0.012294 mm

Error de orientación: 0.000090 rad

Error de orientación: 18.569658 arcseg

Ensayos con coordenadas compensadas y errores identificados:

Error de posición: 0.000451 mm

Error de orientación: 0.000015 rad

Error de orientación: 3.131984 arcseg

TFM_resumenResultados_C_2.txt

Promedio de error de medicion en ensayo: 0.012522 mm

Ensayos con errores identificados:

Error de posición: 0.012323 mm

Error de orientación: 0.000090 rad

Error de orientación: 18.614486 arcseg

Ensayos con coordenadas compensadas y errores identificados:

Error de posición: 0.000472 mm

Error de orientación: 0.000015 rad

Error de orientación: 3.134717 arcseg

TFM_resumenResultados_XYZ_1.txt

Promedio de error de medicion en ensayo: 0.015034 mm

Ensayos con errores identificados:

Error de posición: 0.014813 mm

Error de orientación: 0.000007 rad

Error de orientación: 1.513687 arcseg

Ensayos con coordenadas compensadas y errores identificados:

Error de posición: 0.000474 mm

Error de orientación: 0.000008 rad

Error de orientación: 1.574746 arcseg

TFM_resumenResultados_XYZ_2.txt

Promedio de error de medicion en ensayo: 0.014348 mm

Ensayos con errores identificados:

Error de posición: 0.014152 mm

Error de orientación: 0.000007 rad

Error de orientación: 1.492874 arcseg

Ensayos con coordenadas compensadas y errores identificados:

Error de posición: 0.000490 mm

Error de orientación: 0.000007 rad

Error de orientación: 1.501991 arcseg