TRABAJO DE GRADO
Opción Investigación o Proyecto de Grado

CONTROLADOR DE ESPESOR INTELIGENTE

Corporación Universitaria Remington.
Facultad Ingenierías
Ingeniería de sistemas

Jhon Fredy Henao Galvis.
Juan Pablo Velez Uribe.
Proyecto de grado.
2026

Dedicatoria

Este proyecto lo dedico a mi familia que siempre creyó en mi capacidad y me motivaron a lo largo de esta ingeniería, que era un reto y gusto para mi obtenerla, también es una dedicatoria a la memoria de mi gran maestro Jhon Jairo Tabarez, especialista en Automatización y desarrollo de software para Etex Colombia (Colombit). Porque él es uno de los grandes mentores y motivadores de mi vida profesional.

Agradecimientos

Especial agradecimiento a mi esposa Marcela Valencia, por la motivación y la ayuda que me dio en momentos claves de la ingeniería, donde juntos iniciamos un nuevo rumbo y con gran fortaleza sacamos adelante, ampliando la familia, creando lazos más profundos y conociendo el mundo.

También amplio mis agradecimientos a todo el equipo técnico e ingenieril de Etex Mundial, ya que me a ayuda a formar una vida con una excelente experiencia laboral, que me permite estar presentando este proyecto enfocado en mejorar el proceso productivo de esta empresa.

Ruben Castano, John Jairo Tabarez y Paul Jacobs, Mil gracias por esos cientos de horas discutiendo y analizando como podemos llegar hacer más productivos desde la visual de un sistema más autónomo y regularizados por el dato y también por todo el saber compartido con nosotros!!

Contenido

Resumen..... 7
Palabras clave..... 9
Introducción. 10
Marco teórico o de referencia 11
1.Control de espesor con uso de IA (Inteligencia Artificial) 11
2. Técnicas tradicionales de medición y control de espesor. 11
3. Automatización e industria 4.0 12
4. Inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (Machine learning). 12
5. Aplicación de Inteligencia artificial (IA) en el control de espesor. 13
6. Beneficios del control de espesor con IA. 13
7. Retos y consideraciones. 14
Planteamiento del problema. 15
Justificación. 18
Objetivos 20
Objetivo General 20
Objetivos específicos. 20
Metodología 22
1.Marco de enfoque. 22
2. clasificación de la investigación. 22
3.Cronograma de fases operativas. 28
4. Herramientas y tecnologías. 28
5. técnicas estadísticas y computacionales 29
6. métricas de desempeño. 29
7. consideraciones éticas y de seguridad. 29
Cronograma. 31
Resultados y Discusión 32
Mejora del producto entregado al cliente. 32
Evolución hacia la era del dato y la inteligencia artificial IA. 32
Sostenibilidad y control de recursos en la producción. 33
Actualización del sistema y mejora de la interfaz humana. 33
Conclusiones y recomendaciones. 34
Conclusiones. 34
Recomendaciones 34
Anexos 39

Lista de tablas

Tabla 1. Herramientas y tecnologias. 28

Tabla 2. Cronograma. 31

Lista de figuras.

Ilustración 1. Arbol de problema. 17

Ilustración 2. Cronograma de fases operativas. 28

Resumen

Migrar el proyecto de control de espesor que esta creado en VISUAL BASIC y C++, a un sistema más amigable y con mejor conectividad a las nuevas tecnologías, para hacer interfases de usuarios más intuitivas con reportes y datos más fáciles de manejar.
En este proyecto tenemos como objetivo mejorar el sistema actual de control de espesor (Thickness Control) para maquinas HATSCHEK, actualmente tenemos un sistema que no trabaja mal, pero podemos mejorar sustancialmente el proceso ya que usamos un sistema de tendencia de SMITH PREDICTOR para elevarnos en el tiempo y adelantarnos en una posible tendencia, esto lo podemos mejorar haciendo una analítica de dato de los sistemas previos, como fue la reacción y así llegar a un SetPoint esperado, más rápido y con mejores resultados.

La idea inicial es eliminar el SMITH PREDICTOR y usar un módulo de analítica de dato, para controlar por mayor fluidez el sistema, en la actualidad se tiene como margen de error 4 décimas de milímetro, la idea de este proyecto es entrar a una curva tendencial de máximo 2 décimas de milímetro, con un margen de error del 0.00015%, esta margen de error será en la medida de la placa final, esto llevará a un ahorro de materias primas considerable a largo plazo. Siendo un proyecto muy llamativo, ya que se podría tratar de llevar a otro tipo de maquinaria.
Para esta fase deseamos agregar a nuestro sistema el uso de equipos de última tecnología que nos ayuden a controlar y nos determinen el estado del proceso con una mayor

fiabilidad y con un control del dato más preciso y rápido, ya que actualmente la calidad es definida por el operario y pueden ser trabajos de cualificación visual, dependiendo de los factores humanos, esto lo remplazaríamos por cámaras inteligentes de proceso, de alta calidad y con patrones evolutivos para la mejora del proceso.

Palabras clave

Control de espesor, Hatschek, Smith Predictor, Inteligencia Artificial, Redes Neuronales, Arboles de decisión, Industria 4.0 y 5.0, Aprendizaje de maquina autónomo (Machine Learning)

Introducción.

En el panorama empresarial colombiano de la actualidad, la eficiencia operativa ya no es una ventaja competitiva, sino también un requisito para la continuidad en el sector, este proyecto nace con intención de liderar la transformación hacia la industria 4.0 y 5.0 para cerrar la brecha que existe actualmente entre la parte comercial y el entorno industrial, ya que comercialmente encontramos un avance significativo y productivo para la automatización y el Internet de las cosas. La industria se ha visto muy atrasada en opciones digitales comparando con la parte comercial, buscamos con este proyecto minimizar una parte de este proceso y utilizar las nuevas tecnologías.

Bajo el concepto de industria IA- 4.0 se busca optimizar procesos mediante IA (Machine Learning) para mitigar el margen de error humano y maximizar la rentabilidad, para mí la sostenibilidad no es solo una métrica, sino un valor esencial. Por ello, el proyecto garantiza una gestión eficiente de materias primas con el objetivo de reducir el desperdicio final, alineando nuestra operación con respeto hacia el medio ambiente.

Marco teórico o de referencia

1. Control de espesor con uso de IA (Inteligencia Artificial)

El espesor es una propiedad física fundamental usada en una gran variedad de procesos industriales y con aplicaciones técnicas en el sector de la construcción para determinar parámetros de estabilidad como una losa de concreto, en la industria metalúrgica para identificar espesor de materiales y en la manufactura es vital para determinar la resistencia estructural y eficiencia de producción.

Tener un control preciso de espesor no solo garantiza la calidad del producto final, sino que también permite tener mayor eficiencia en el proceso, reducción de desperdicio de materiales y el cumplimiento de normativas técnicas.

El control de espesor es un aspecto fundamental en los procesos de manufactura debido al impacto que se genera sobre la calidad y resistencia del producto. Así mismo tener un control adecuado de espesor ayuda a reducir los desperdicios, optimizar el uso de materias primas y mejorar la eficiencia productiva (Groover,2014)

2. Técnicas tradicionales de medición y control de espesor.

A través del tiempo la medición de espesor se ha realizado principalmente en métodos de contacto directo, entre ellos está el uso de micrómetro, calibrador Vernier (pie de rey), galgas de espesor, ultrasonido (UTM), inducción magnética y corrientes de Foucault. Estas técnicas, aunque son precisas, pueden tomar mucho tiempo, ser costosas y requieren intervención humana.

3. Automatización e industria 4.0

La industria 4.0 es considerada la actual revolución industrial, básicamente es la integración de tecnologías digitales con la inteligencia artificial aplicado a los procesos industriales. No solo se trata de programar la máquina para que realice X o Y función, sin que analice el entorno, tome decisiones y avise al sistema central.

La Industria 4.0 ha impulsado la automatización de procesos productivos mediante tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA), el Internet de las Cosas (Iota), el big data y la robótica, mejorando la eficiencia operativa y la competitividad del sector. Sin embargo, la transición a estos sistemas ha sido limitada debido a barreras tecnológicas, económicas y culturales dentro de las empresas. (Lobo Carrillo, 2024, P.6)

Aplicando esto al control de espesor lo que se busca no es solo medirlo, sino predecir y controlar su comportamiento en tiempo real para lograr un proceso inteligente. Esto requiere la instalación de sensores, sistemas de adquisición de datos y algoritmos avanzados que pueden aprender patrones y tomar decisiones de manera autónoma.

4. Inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (Machine learning).

El aprendizaje automático permite desarrollar modelos que aprenden de datos históricos o tomados en tiempo real, para poder predecir o detectar problemas utilizando técnicas como:

- Redes neuronales artificiales
- Arboles de decisión
- Máquinas de soporte vectorial

- Modelo de regresión no lineal

Pueden ser entrenadas para predecir y controlar el espesor basado en variables como, temperatura, velocidad, presión, entre otras.

Hoy en día la inteligencia artificial y el aprendizaje automático están en una etapa de profundo crecimiento, seguramente serán los ejes principales para el desarrollo de la ciencia de la computación y la humanidad donde estarán fundidas, no solo hardware y software, sino también varias tecnologías, tales como nanotecnología, computación cuántica, automatización, entre otras. (Ramírez. 2021).

5. Aplicación de Inteligencia artificial (IA) en el control de espesor.

Aquí podemos identificar como la IA lleva la precisión a niveles que la automatización no ha podido alcanzar ejemplo, si en un proceso de laminación tradicional un sensor detecta una placa muy gruesa, el sistema corrige después del error. Mientras que con los modelos predictivos de la IA lo que se logra es la anticipación y que corrija los rodillos antes de que el material pase por ellos, reduciendo así la cantidad de material de descarte.

6. Beneficios del control de espesor con IA.

- Precisión detección de variaciones mínimas
- Reducción de errores humanos.
- Integración con sistemas ciberfísicos para control automático.
- Mejora en la calidad del producto final.

7. Retos y consideraciones.

Disponibilidad y calidad de los datos. La inteligencia artificial necesita de grandes volúmenes de datos y que sean confiables para poder crear modelos predictivos que le permita tomar decisiones y obtener los mejores resultados.

Aplicabilidad del modelo, en sectores críticos, es muy importante comprender por qué el modelo tomo ciertas decisiones.

Costo de implementación, tanto en la infraestructura como en el desarrollo de modelos.

Mantenimiento y actualización del sistema de IA.

Planteamiento del problema.

El sistema de control de espesor con inteligencia artificial tiene como finalidad resolver algunos problemas críticos existentes en la producción industrial, específicamente en la fabricación de placas de fibrocemento. Este tipo de proceso necesita un control preciso de espesor del producto final, ya que hasta la más mínima variación puede afectar la calidad, la resistencia, el cumplimiento de normativas y por supuesto la satisfacción del cliente.

Con este sistema se busca solucionar las siguientes problemáticas:

1. Inconsistencias en el espesor del producto, que pueden generar placas que no cumplen especificaciones, provocando reprocesos, desperdicios de materias y perdida de eficiencia productiva.

2. Uso ineficiente de materias primas, ya que una producción con exceso de espesor produce un consumo de cemento, fibras y aditivos innecesario, incrementando los costos de producción.

3. Falta de control en tiempo real, debido a que los métodos tradicionales de medición suelen ser manuales, lo que impide realizar una corrección oportuna durante el proceso.

4. Dependencia del operador humano para monitorear y realizar ajustes del proceso, lo cual introduce riesgo de error, variabilidad y limitaciones en la velocidad de respuesta ante desviaciones.

5. Ausencia de trazabilidad y análisis de datos históricos, lo que cual dificulta la mejora continua del proceso y la identificación de las causas de la falla.

6. Interfaces de usuarios poco intuitivas o desactualizadas, lo cual dificulta la interacción con el sistema y la correcta interpretación de la información.

Al implementar un sistema de IA, se busca mantener el espesor dentro de los rangos establecidos, mediante un análisis predictivo de datos en tiempo real, reducir el desperdicio de materiales, optimizar los recursos, mejorar la calidad del producto final y avanzar hacia una producción más automatizada, eficiente y sostenible.

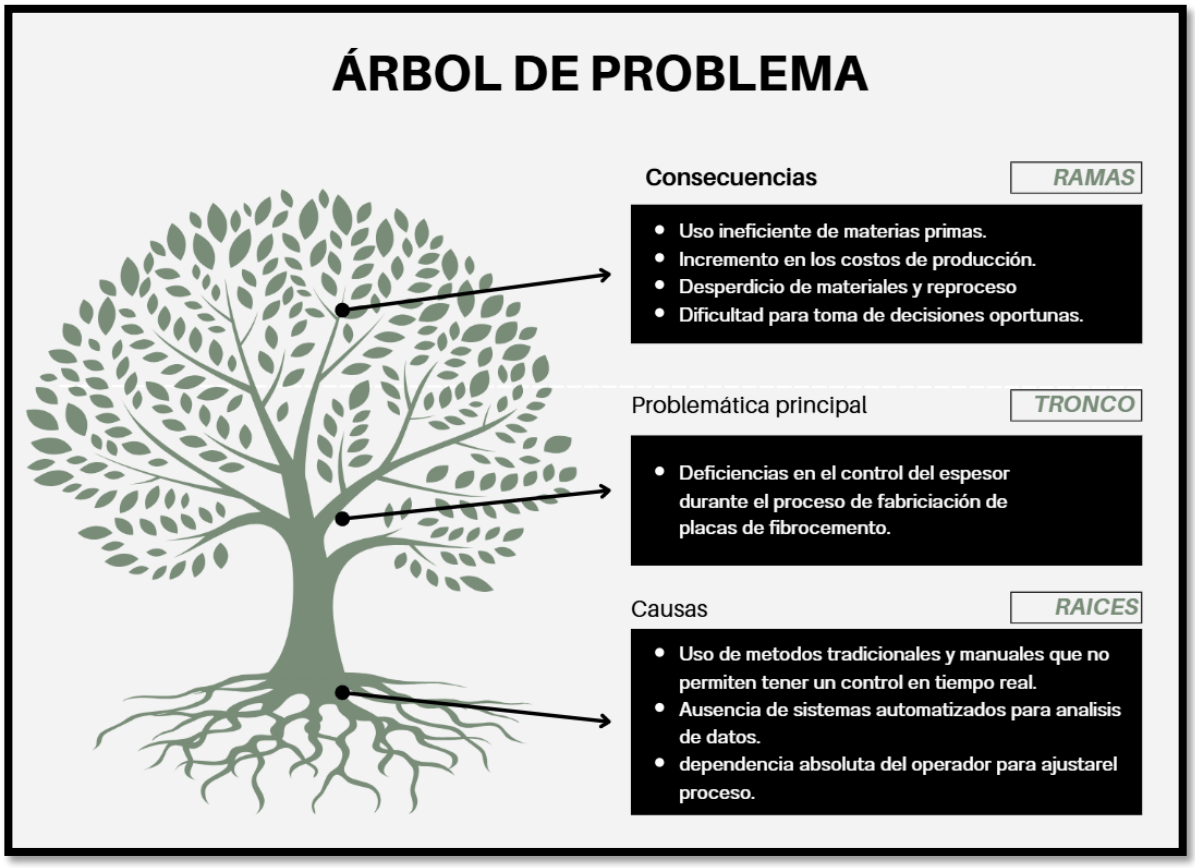


Ilustración 1. Árbol de problema.

Justificación.

El control de espesor (Thickness control) es un sistema creado muchos años atrás en el lenguaje de programación Visual Basic (VB) en la plataforma de visual estudio 2010 este software lo que busca en nuestra compañía es controlar el espesor de los productos a través de un algoritmo y unas variables de retroalimentación para la parametrización de diferentes equipos. Queremos es mejorar el algoritmo que se usa actualmente, es un modelo matemático que se conoce como SMITH PREDICTOR, este algoritmo se usa fácilmente ya que requiere de pocas variables de retroalimentación, haciendo que sea de fácil uso para controles de lazo cerrado. Este sistema es usado para mejorar la teoría de máquinas de Ludwig Hatschek, la cual es una teoría de proceso muy usada en construcción de productos en fibrocemento. Con este sistema se regula el proceso de entrada de materiales permitiendo obtener un producto de mejor calidad en un RANGO de ESPESOR adecuado para el mercado, acorde a las características de venta y uso.

Daremos un paso gigante con este sistema, ya que lo que buscamos con un módulo de control de IA, es mitigar o reducir los errores humanos que se puedan tener durante el proceso, de igual forma ayudará a identificar fácilmente las causas de los errores. Evitando el desperdicio o la acumulación de producto final que no cumple con las especificaciones requeridas. Se pretende utilizar unas cámaras para control de proceso a través de patrones

gráficos que nos permita entender cuando un producto cumple con el estándar o cuando un producto debe ser desintegrado para reutilizarlo en el proceso de producción.

La evolución se llevará acabo con la inteligencia artificial, y la fiabilidad de los datos que se obtienen por la visión artificial y diferentes sensores, todos estos componentes a través de modelos de aprendizaje profundo (Machine Learning), analizara datos, gráficos y tomara decisiones en corto tiempo para determinar si el producto está conforme y también se retroalimentara la producción en línea para mejorar los valores en línea.

La adopción de tecnologías 4.0 Nos permite integrar inteligencia artificial, aprendizaje automático y análisis de datos, mejorando así la eficiencia, sostenibilidad y la capacidad para controlar los procesos productivos (Alyami 2023)

El procesamiento de imágenes permite acelerar, controlar y optimizar los procesos. La incorporación de la inteligencia artificial y del formato aplicación ha ampliado todavía más el abanico de aplicaciones. Las cámaras inteligentes pueden reconocer formas variables, localizar objetos distribuidos aleatoriamente en imágenes complejas y detectar anomalías. En breve: La inteligencia artificial resuelve tareas en las que el procesamiento de imágenes basado en reglas llega a sus límites. (IDS Imagino Development Systems GmbH, s.f).

Objetivos

Objetivo General

Actualizar desarrollar e implementar un módulo de control más avanzado basado en IA y Machine Learning, para el sistema de control de espesor (Thickness Control), con el propósito de optimizar el proceso de fabricación de Placas de fibrocemento, logrando al menos una reducción del 35% de desperdicio de material, por fuera del rango del mercado y disminuyendo en un 50% los errores operativos en un plazo de 12 meses.

Objetivos específicos.

1.Disenar e integrar el sistema de IA con Machine Learning, Posicionando estratégicamente todos los dispositivos con los que vamos a capturar datos para retroalimentar el sistema en tiempo real.

2.Desarrollar y entrenar el módulo de IA, utilizando el módulo de Machine Learning, para el reconocimiento de todos los patrones de producción necesarios, para la clasificación automática.

3. Implementar el sistema de control de lazo cerrado optimizado en los equipos de parametrización, conectando las lecturas de la IA con la regulación automática de la entrada de materias primas bajo la teoría de Hatschek.

4.Actualizar el sistema y la interfaz, de forma que sea más intuitiva y fácil para el uso humano, y validar la eficiencia operativa del sistema, a través de pruebas piloto en planta, para la identificación de fallas y minimizar el impacto en el proceso de producción.

Metodología

1.Marco de enfoque.

La investigación se fundamenta en un enfoque cuantitativo de carácter experimental. El objetivo central es el modelado y la optimización de un sistema físico (control de espesor) a través de algoritmos de inteligencia artificial, validando los resultados mediante indicadores de desempeño cuantitativos.

2. clasificación de la investigación.

investigación aplicada a modelo de machine learning

Entradas de variables de proceso

- Presión rodillo de formación

  No dará claridad sobre la fuerza aplicada a las placas, para determinar la densidad final y calcular el consumo de materias primas por placa producida.

- Fuerza rodillos de caucho

  Nos ayudara a controlar la maquina en etapas de arranque, ya que el algoritmo podrá tomar decisiones acerca del material que está entrando para formar la placa, también se controlara esta fuerza aplicada.

- Velocidad de línea

  La mas importante, ya que podremos variar esta velocidad, para obtener unos mejores valores de espesor, y el sistema IA controlara esta variable para ser cada vez más precisos.

- Medidor Flujo de agua a la maquina

  Sera la variable encargada de controlar la concentración de las materias primas, para el proceso de fabricación, nos ayudaran que las vates o tanques de pasta, siempre tengan una concentración adecuada para el sistema de producción.

- Medidor de Flujo de pasta

  Junto con el medidor de agua, cumplen una función super importante para la producción, y el control de la materia prima que entra en la etapa de producción, ayudan a controlar y mantener una concentración en la pasta adecuada para la fabricación.

- Sensores de espesor

  Nos retroalimentará el sistema, junto a las cámaras de proceso, para determinar el espesor y el estado de las placas ya producidas, para determinar si se apilaran para el resto del proceso o se retorna esta pasta al proceso de formación nuevamente

- Cámaras de proceso

  Este equipo será el top en el proceso, ya que determinará el estado del producto formado y decidirá si esta en optimas condiciones para, continuar con el proceso de fabricación, ya que en este punto es donde se pierde una gran parte de tiempo en el proceso, por que la decisión es manual hecha por un humano.

Salidas de variables

- Espesor final de placas
- Estado final de placa

Con entradas y salidas podemos obtener, Valores reales de planta de producción e Históricos que nos ayudaran a determinar como puede funcionar mejor una planta de fibrocemento.

Desarrollo de algoritmo de **MACHINE LEARNING**

- Algoritmo de perdición no lineal, donde se harán pequeñas redes neuronales para unir los datos que se necesitan para la toma de decisiones, sin ser una red neural extensa, tomara decisiones a una alta velocidad para corregir los parámetros y llevar siempre alta disponibilidad a la producción
- Estas pequeñas redes neuronales de tomas de datos, se integrarán mediante el entrenamiento del sistema, para definir el valor de actividad en el proceso.

Entrenamiento del modelo

- Tener todas las variables de entradas, conectadas al algoritmo previamente diseñado, para el aprendizaje del dato y la creación de patrones, que nos permitirán las tomas de decisiones para las cámaras de proceso, para los sensores y los diferentes medidores (Velocidad, Fuerza, Flujo, Presión), será un aprendizaje de dato, de cuando está en óptimas condiciones
- La división de datas seria 70% entrenamiento, 15% validación y 15% pruebas con los datos, sin entrar en producción, solo posible control.

Diseño de control inteligente

- Este algoritmo es el que no permitirá ser mas precisos con el sistema ya que el que controlará la variable de salida a través de los datos patrones estables recolectados por el algoritmo de MACHINE LEARNING.
  Espesor= {Velocidad, Concentración, Fuerza, Presión}
  Concentración= {Flujo Pasta / Flujo Agua} * 100

  Todos los valores se buscan que sean automáticamente ajustados por el ALGORITMO (IA), Velocidad, presión, etc. Para mantener el espesor objetivo.

Pruebas y simulaciones

- Para las pruebas de calidad de patrones y de datos, se utilizará Python, Matlab, y TwinCAT ya que se evidenciará el estado de los datos y se pueden graficar los resultados, antes de llevarlo a la fabricación.
- Ejemplos de cómo se haría las pruebas y simulaciones.

  Escenario 1. Sin perturbaciones.

  Escenario 2. Cambio de temperatura.

  Escenario 3. Variación de velocidad.

  Escenario 4. Cambio de materia prima.

  Comparar resultados

  Debes demostrar que el sistema inteligente supera al tradicional.

  - Diagramas
  - Arquitectura del sistema.
  - Flujo de datos.
  - Lazo de control cerrado.
  - Gráficas

    Espesor deseado vs real.

    Error de control.

    Respuesta PID.

    Respuesta IA.

    Espesor deseado vs real.

Error de control.

Respuesta PID.

Respuesta IA.

3.Cronograma de fases operativas.



Ilustración 2. Cronograma de fases operativas.

4. Herramientas y tecnologías.

Tabla 1. Herramientas y tecnologías.

CATEGORIA	HERRAMIENTAS/TECNOLOGIAS
Lenguajes de programación	Python, MATLAB, R

Bibliotecas de IA	Scikit-learn, tensorFlow, Keras, Pytorch
Simulación industrial	Simulink, Factory I/O, TwinCAT
Instrumentación	Sensores de espesor (Laser y ultrasonido) PLCs, HMI

5. Técnicas estadísticas y computacionales

- Análisis de regresión
- Validación cruzada
- Optimización de hiperparametros (grid secar, Bayesian optimization)
- Análisis de sensibilidad

6. Métricas de desempeño.

- Precisión de predicción del espesor (errores estadísticos)
- Tiempo de respuesta el sistema de control.
- Estabilidad del espesor frente a perturbaciones.
- Comparación con métodos convencionales (control PID)

7. Consideraciones éticas y de seguridad.

- Garantizar la protección de datos industriales confidenciales.
- Verificar la seguridad operativa al implementar sistemas de IA de control en tiempo real.
- Validar el sistema de simulación antes de su despliegue en entornos productivos reales.

Cronograma.

A continuación, presento un cronograma mes a mes, de cómo se puede ejecutar el proyecto.

Tabla 2. Cronograma.

Actividades	Trimestre 1			Trimestre 2		
	enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Revisión bibliografica sobre: Técnicas de control de espesor tradicionales (PID, etc.). Aplicaciones de inteligencia artificial en control de procesos. Casos industriales relevantes (acero, plásticos, papel, etc.). Delimitación del problema y objetivos del proyecto. Formulación del marco teórico y justificación.						
Diseño metodológico del proyecto. Identificación de variables relevantes del proceso (temperatura, presión, velocidad, etc.). Selección del algoritmo de inteligencia artificial a utilizar (Red neuronal, SVM, etc.). Diseño de instrumentos para recolección de datos (sensores, simuladores, bases de datos históricas).						
Recolección de datos del proceso real o simulado. Preprocesamiento de datos: Limpieza y normalización. Análisis estadistico y exploratorio (correlaciones, tendencias). División del conjunto de datos (entrenamiento, validación, prueba).						
Desarrollo del modelo de inteligencia artificial. Entrenamiento y prueba del modelo. Ajuste de hiperparámetros. Validación del modelo con métricas de desempeño (MSE, R^2, MAE, etc.).						
Integración del modelo en el sistema de control de espesor (en lazo cerrado o como predictor). Simulación del sistema con el modelo IA. Comparación con métodos tradicionales (control PID u otros). Evaluación del comportamiento bajo distintas condiciones de entrada.						
Análisis de resultados y discusión de hallazgos. Conclusiones y recomendaciones. Redacción del informe final (tesis o reporte técnico). Preparación y entrega de la presentación oral o defensa del proyecto.						

Resultados y Discusión

Mejora del producto entregado al cliente.

- Se logró una mayor uniformidad en el espesor de las placas de fibrocemento, reduciendo significativamente la variabilidad entre lotes.
- La disminución de errores en el espesor permitió ofrecer productos con mejores acabados, mayor resistencia y cumplimento normativo, elevando la satisfacción del cliente final.
- Se fortaleció la imagen de la empresa como proveedor confiable y tecnológicamente avanzado, reforzando su posicionamiento en el mercado.

Evolución hacia la era del dato y la inteligencia artificial IA.

- Se integró un sistema de recolección, procesamiento y análisis de datos en tiempo real, permitiendo la toma de decisiones basada en datos.
- El uso de modelos predictivos con IA permitió anticipar desviaciones en el espesor y actuar de forma proactiva, marcando un paso clave hacia la industria 4.0.
- Se sentaron las bases para el data learning continuo, con algoritmos que mejoran su precisión en cada ciclo de producción.

Sostenibilidad y control de recursos en la producción.

La automatización del control de espesor permitió reducir el consumo innecesario de materias primas, optimizando en uso de cemento, agua y fibras,

Se minimizó la cantidad de producto fuera de especificaciones, disminuyendo el reproceso y la generación de residuos industriales.

Con estos avances, la empresa avanzó hacia un modelo de producción más eficiente, sostenible y con menor huella ambiental.

Actualización del sistema y mejora de la interfaz humana.

- Se desarrolló una nueva interfaz grafica de usuario (GUI) moderna, intuituva y adaptable a distintos perfiles de usuario (operadores, supervisores, tecnicos)
- La interfax incluyó sistemas de login por roles, permitiendo controlar accesos y responsabilidades dentro del proceso.
- Se incorporaron tecnologias de diseño UX/UI que facilitaron el uso diario del sistema, reduciendo el tiempo de cpaacitación y los errores humanos.
- En conjunto, estos resultados reflejan una tranformaci+on integral del proceso productivo, no solo en terminos de control de calidad, sino tambien en eficiencia operativa, adopción tecnologica y compromiso ambiental.
- El sistema implementado se convierte en una herramienta estrategica para el crecimiento sostenible y competitivo de la empresa.

Conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones.

- La incorporación de la inteligencia artificial en el control de espesor representa un avance tecnológico clave para la modernización del proceso de fabricación en fibrocemento.
- El sistema demostró ser una herramienta eficaz para mejorar la calidad del producto, incrementar la eficiencia operativa y reducir costos por desperdicios.
- El proyecto permitió que la empresa diera un paso firme hacia la industria 4.0 integrando datos, inteligencia y automatización en su operación diaria.
- La mejora en la interfaz no solo hizo el sistema más accesible, sino que también contribuyó a un mejor manejo de la información y seguridad operativa.

Recomendaciones

- Entrenamiento continuo del modelo de IA: Para mantener la precisión del sistema, se recomienda seguir alimentando el modelo con nuevos datos de producción y realizar ajustes periódicos.
- Capacitación del personal: hay que asegurar que los operadores y técnicos estén formados en el uso del nuevo sistema de interfaz, fomentando una cultura de datos e innovación.

- Escalabilidad del sistema: evaluar la posibilidad de aplicar esta tecnología a otros procesos críticos dentro de la planta, como el control de humedad o curado del fibrocemento.

- Monitoreo de impacto ambiental: integrar indicadores de sostenibilidad y reportes ambientales que cuantifiquen el impacto positivo del sistema en el uso de recursos.
- Mantenimiento y soporte técnico preventivo: establecer rutinas de mantenimiento de sensores, hardware y software para garantizar un funcionamiento continuo y confiable.

Referencias bibliográficas.

- Borges, J.L. (2013). *Ficciones*. Buenos Aires, Argentina: Debolsillo.
- Bastidas, L.R. (2007). *El inicio del siglo XXI*. Planeta. Sitio web: http://www.rbastidasl.com/libro-inicio-del-sigloxxi.
- Lobo Carrillo, J. K. (2024). *Impacto de la industria 4.0 en las PYMES del sector textil en Colombia, sus desafíos y oportunidades*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).
- Ingeniare. Rev. chil. ing. vol.29 no.2 Arica jun. 2021
- https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052021000200180&script=sci_arttext
- SICK. (s.f.). *El procesamiento de imágenes con inteligencia artificial*. SICK Sensor Intelligence. https://www.sick.com
- Pliego Reyes, N. L. (2017). *Control robusto de espesor de la cinta de acero en un molino de laminación en caliente mediante Teoría de Retroalimentación Cuantitativa* (Doctoral disertación, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Alyami, H., Alsubaie, A., Alqahtani, A., & colaboradores. (2023). *The artificial intelligence technologies in Industry 4.0: A taxonomy, approaches, and future directions*. Computers & Industrial Engineering, 185, 109662. https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109662
- IDS Imaging Development Systems GmbH. (s.f.). *Cámaras IA: Análisis de imágenes con IA*. IDS Imaging. Recuperado el 24 de junio de 2026.

https://es.ids-imaging.com/ids-nxt.html

- Hernández, M., Córdoba, C., Mera, J., & Paredes, O. (2010). Construcción y calibración de un equipo para la deposición de nano películas Sol-Gel por el Método de Rotación o Spin-Catinga. Revista Colombiana de Física, 42(2), 5. https://fisica.udea.edu.co/ojs/ojs/index.php/rcf/article/download/420231/89

- Pliego Reyes, N. L. (2017). Control robusto de espesor de la cinta de acero en un molino de laminación en caliente mediante Teoría de Retroalimentación Cuantitativa (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- https://rediab.uanl.mx/Record/eptesis-16061/Versions
- Groover, M. P. (2014). Introducción a los procesos de manufactura. McGraw-Hill Education.
- https://dokumen.pub/introduccion-a-los-procesos-de-manufactura-9780470632284.html
- Carrera-Rivera, A., Reguera-Bachiche, D., Larrinaga, F., & Lasa, G. (2023). Exploring the Transformation of User Interactions to Adaptive Human-Machine Interfaces.
- https://www.wiley.com/en-ae/shop/general-introductory-computer-science/human-machine-interface-making-healthcare-digital-p-9781394200320

- Alyami, H., Alsubaie, A., Alqahtani, A., et al. (2023). The artificial intelligence technologies in Industry 4.0: A taxonomy, approaches, and future directions. Computers & Industrial Engineering.
- https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835223006861?via%3Dihub
- Ahmmed, M. S., Isanaka, S. P., & Liou, F. (2024). Promoting synergies to improve manufacturing efficiency in industrial material processing: A systematic review of Industry 4.0 and AI. Machines, P. 12.
- https://www.mdpi.com/2075-1702/12/10/681

Anexos

Las referencia encontradas en la web no son muchas, ya que este es un proceso de producción muy cerrado, y mejorado por cada marca desde su propia ingeniería, Trate de acceder a unos libros de control de proceso y producción que tiene la empresa ETEX, pero me fue imposible, ya que al explicar que quería hacer una tesis de esto, ellos pensaron que se podría escapar información, entonces este documento finalmente es creado por algunos modelos de encontré en Internet, citados previamente y por mi experiencia en este sector de la automatización de este proceso que ya son un poco más de 16 años. Espero sea de su agrado