

Análisis del sector industrial y aplicaciones del proceso de fresado y la influencia del efecto Chatter en el acabado de las piezas del proceso



Jhon Sebastian Caballero Amado, Daniela Selene Daza Peláez

Agosto 2021

Universidad Antonio Nariño.

Facultad Ingeniería Industrial

Programa Ingeniería Industrial

Análisis del sector industrial y aplicaciones del proceso de fresado y la influencia del efecto Chatter en el acabado de las piezas del proceso

Jhon Sebastian Caballero Amado, Daniela Selene Daza Peláez

Agosto 2021

Universidad Antonio Nariño
Facultad Ingeniería Industrial
Programa Ingeniería Industrial

Notas del autor

Jhon Sebastian Caballero Amado, Facultad de Ingeniería Industrial,
Universidad Antonio Nariño, Villavicencio.

Daniela Selene Daza Peláez, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad
Antonio Nariño, Villavicencio.

Nota de Aceptación

Ramiro Hernán Polanco Contreras
Jurado 1

Daniela Saldaña Requiniva
Jurado 2

Nancy Esperanza Saray Muñoz
Comité Trabajo de Grado

Dedicatoria

Dedicado principalmente a Dios, por darme la oportunidad de estudiar esta hermosa carrera y por su constante apoyo en este camino universitario. A mis padres por su entera dedicación, amor y sacrificio. A mis hermanas por su apoyo en esta etapa de mi vida. A los ingenieros por impartir sus conocimientos con paciencia y profesionalismo ayudándome a culminar mi educación superior y a todos aquellos para quienes mis logros representan alegría y orgullo.

Agradecimientos

Agradecidos primeramente con Dios, por brindarnos salud para afrontar los retos que se presentan en nuestras vidas, por su infinita bondad, por ser nuestro guía y apoyo en los momentos más difíciles, por permitirnos vivir esta etapa llena de momentos gratificantes y aprendizajes, a nuestros padres, agradecer su apoyo, por ser nuestra mayor motivación y por su acompañamiento constante en toda nuestra etapa educativa, por aquellas palabras de aliento y consejos en esta meta tan importante.

Igualmente, de manera especial Expresar nuestro mayor agradecimiento a la Universidad Antonio Nariño sede Villavicencio, por brindarnos a través de sus profesionales y colaboradores formación integral permitiéndonos de esa manera realizar un trabajo coherente con las exigencias del plantel. Agradecer a la ingeniera Nancy Esperanza Saray Muñoz por su tiempo y disposición con los estudiantes, apoyo y entrega. A nuestro asesor el Ingeniero Diego Ferney García Orjuela por su acompañamiento en el desarrollo de este trabajo, consejos en momentos de dificultad, aportes a este y paciencia frente a nuestras dudas.

Resumen

El chatter es un fenómeno generado por el propio proceso de mecanizado considerado una vibración auto excitada de piezas en un sistema máquina-herramienta-pieza de trabajo. El cual se encuentra ampliamente explicado en una gama de procesos de corte y el cual tiene un impacto tanto en la eficiencia como en la calidad del proceso de producción. Dentro de los últimos años ha sido gran tema de investigación tanto a las causas del este fenómeno como a las alternativas tanto teóricas como tecnológicas que aporten de cierta manera una solución a la problemática mencionadas capaces de predecir y detectar el chatter

En el presente trabajo se tiene como objetivo realizar un análisis de los sectores industriales donde se hace necesaria la aplicación de un dispositivo de monitoreo de procesos de fresado CNC para reducir los efectos de chatter a través de control activo de parámetros de maquinado, en primera media fue necesaria una recolección de datos en motores de búsqueda reconocidas por su importancia, extrayendo información que permitiera ver factores de influencia dentro del medio, tales como la revista del artículo, país de procedencia de la revista, autor, índice H y cuartil. Donde se dieron bases para un mejor entendimiento de los sectores en los cuales los procesos de mecanizado tienen un aporte constante en el crecimiento de la industria.

Como segunda fase y teniendo la información primaria de los documentos referentes se extrae datos claves de los artículos, haciendo una contextualización en un análisis de aplicación de estos mencionado tanto las variables de incidencia de chatter en los procesos de fresado, el

sector en donde estos artículos tienen un campo de acción y las aplicaciones industriales de este.

Posteriormente se realiza una tabla de caracterización de las variables para dar conocimiento completo de estas y como intervienen en el proceso. Finalmente, y con la información obtenida de dichos documentos se elabora un marco de aplicación del dispositivo de monitoria miento dentro de las capacidades tecnológicas actuales de Colombia y las mejoras posibles en los procesos industriales.

Palabras Clave: Chatter, mecanizado, tecnología, variables de incidencia, aplicaciones industriales.

Abstract

Chatter is a phenomenon generated by the machining process itself, considered a self-excited vibration of parts in a machine-tool-workpiece system. Which is widely explained in a range of cutting processes and which has an impact on both the efficiency and the quality of the production process. In recent years, the causes of this phenomenon as well as the theoretical and technological alternatives that provide in a certain way a solution to the aforementioned problems have been a great subject of research, capable of predicting and detecting chatter.

The objective of this work is to carry out an analysis of the industrial sectors where it is necessary to apply a monitoring device for CNC milling processes to reduce chatter effects through active control of machining parameters, first of all. media, it was necessary to collect data in search engines recognized for their importance, extracting information that allowed us to see factors of influence within the medium, such as the journal of the article, country of origin of the journal, author, H index and quartile. Where foundations were given for a better understanding of the sectors in which machining processes have a constant contribution to the growth of the industry.

As a second phase and having the primary information from the referring documents, key data is extracted from the articles, making a contextualization in an analysis of the application of these mentioned both the variables of incidence of chatter in the milling processes, the sector where these articles they have a field of action and the industrial applications of this. Subsequently, a table of characterization of the variables is made to give complete knowledge of these and how they intervene in the process. Finally, and with the information obtained from said

documents, an application framework of the monitoring device is elaborated within the current technological capabilities of Colombia and the possible improvements in industrial processes.

Keywords: Chatter, machining, technology, incidence variables, applications.

Tabla de contenido

Introducción	14
Planteamiento del problema.....	16
Descripción del Problema	16
Formulación del problema	17
Justificación	19
Objetivos.....	21
General.....	21
Específicos	21
Marco Referencial.....	22
Antecedentes	22
Marco Teórico.....	33
Marco Conceptual.....	40
Diseño Metodológico.....	42
Tipo y Enfoques de Investigación.....	42
Método de Investigación.....	42
Técnicas de recolección de datos	43
Fase 1. Recolección de información teórica y aplicada del sector de aplicación de la temática.	43
Fase 2. Análisis de variables que inciden en el proceso de fresado.....	44
Fase 3. Identificación del marco de aplicación de un dispositivo que identifique los efectos de chatter en el proceso de fresado.	44
Desarrollo del Proyecto.....	45

	xi
Fase 1, Recolección de información	45
Fase 2, Análisis y clasificación de las variables	52
Fase 3. Marco de aplicación.....	70
Industria Aeroespacial.	75
Robótica	77
Automotriz	79
Armamento	80
Conclusiones.....	81
Recomendaciones	83
Referencias.....	84

Lista de Tablas

Tabla 1. Recolección de datos primarios	45
Tabla 2, análisis de enfoque y aplicación	52
Tabla 3 Variables de incidencia en el proceso de fresado.	66

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Herramientas de fresado Fuente	36
Ilustración 2. Clasificación según la cantidad de ejes.....	37
Ilustración 3. Clasificación según su operación.....	37
Ilustración 4. Problema de chatter en diferentes aplicaciones	39

Introducción

El chatter o vibración autoexcitada es una de las mayores problemáticas dentro de los procesos de mecanizado, el cual genera disminuciones en la producción de las industrias que utilizan los procesos de fresado en sus actividades. Los principales efectos del chatter sobre los procesos son deficiencia en los acabados superficiales, disminución de la calidad, desgaste excesivo de la herramienta, contaminación auditiva y disminución de la vida útil de la pieza. Esto derivado de las características dinámicas del sistema que definen el comportamiento de la vibración (Quintana & Ciurana, 2011).

El fenómeno chatter es causado por los mismos movimientos de corte dentro del sistema definidos como frecuencias naturales explicados por las características dinámicas del sistema máquina-herramienta-pieza de trabajo, los cuales se muestran de mayor o menor forma dependiendo del tipo de procesos y los parámetros de corte como velocidad, profundidad, fuerza, entre otros. Este efecto conocido como chatter se ve como una ondulación en la superficie de la pieza, las cuales se ven amplificadas en cortes sucesivos cuando la herramienta tienen un recorrido repetitivo en una superficie irregular independientemente que está ya haya tenido un proceso previo (Brecher, Manoharan, Ladra, & H.-G. Köpken, 2010).

A pesar de que existen conclusiones parciales al problema de chatter estas no generan soluciones reales o duraderas frente a este fenómeno, hasta el momento se consideran procedimientos teóricos frente a situaciones específicas de tiempo y velocidad las cuales están basadas en el monitoria miento según diagramas de lóbulos de estabilidad permiten control de manera ecuánime en el proceso de fresado, otra problemática importante dentro del proceso de mecanizado es el desgaste por rozamiento entre la herramienta y la pieza de trabajo que aun con la predicción por modelos analíticos y el mejoramiento de los algoritmos de control son prioridad en la industria creciente.

En Colombia el mecanizado y la industria metalmecánica no se considera siquiera competitiva frente a países desarrollados y sus capacidades industriales, ya que el avance tecnológico genera a su vez un mayor grado de competitividad, dentro de dichos procesos se encuentran las mejoras en los procesos de manufactura y la poca flexibilidad de los sistemas máquina- herramienta- piezas de trabajo , teniendo en cuenta lo anterior las mejoras de los proceso de mecanizado requieren de capacidades de inversión considerablemente altas para su implementación por lo cual no se consideran factibles para países como Colombia . por lo se hace necesario la concepción de tecnologías con un costo de inversión menor y una mejora real del proceso de corte, para lo cual se utilizan técnicas de manufactura mejoradas.

Planteamiento del problema

Descripción del Problema

El chatter es una vibración auto excitada que suele ocurrir durante las operaciones de mecanizado siendo una de las limitantes más críticas para la productividad de ciertos sectores de la industria y así mismo afectando directamente la calidad de las piezas terminadas. Teniendo efectos adversamente significativos como acabado superficial deficiente, ruido anormal durante el proceso y gran reducción en la vida útil de los diferentes componentes de la máquina - herramienta. Por estos motivos, ha sido un tema de interés industrial y académico en el sector manufacturero durante años (Quintana & Ciurana, 2011), debido a la variedad de procesos en la industria y su evolución tecnológica.

La principal causa del chatter (movimiento auto excitado) es el proceso de regeneración, el cual se explica por las características dinámicas del sistema máquina – herramienta- pieza de trabajo. Estas características definen la vibración del sistema, la cual puede ser alcanzada durante ciertas combinaciones de velocidad de rotación y parámetros de corte. Existen dos tipos de estrategias referentes a la disminución de chatter, las estrategias pasivas que se enfocan en la modificación de los parámetros del proceso sin adicionar energía y las estrategias activas por su parte necesitan energía para la medición de los parámetros del proceso sin modificar estos. A pesar de que estas soluciones ya han sido demostradas y efectuadas en la industria todavía existen limitantes. Ya que la complejidad y variabilidad temporal de las características dinámicas

del sistema máquina – herramienta- pieza son complejas. (Mancisidor.I, Munoa.J, Barcena.R, & Beudaert.X, 2014)

Formulación del problema

Teniendo en cuenta las estrategias vigentes que actúan de manera activa y pasiva para poder reducir el problema del chatter (vibración auto excitada), estas se han visto en acción de manera experimental o implementadas en la industria logrando efectos significativos respecto a este, pese a lo anterior el chatter produce un efecto crítico por lo que aún tiene ciertas limitaciones en el uso industrial. Como se puede evidenciar en el diseño y fabricación de piezas en tres dimensiones(3D) para lo cual se necesitan modelos muy precisos del sistema y proceso de maquinado (J.Munoa, X.Beudaert, Z.Dombovari, & Y.altintas, 2016), ya que el proceso varía según tipo de material, maquinaria usada y herramientas complementarias según los parámetros dinámicos del sistema además del tiempo, posición y dimensiones según el diseño de la pieza. Debido a que no se tiene una gran variedad de sistemas de medición precisos del chatter se aumenta la posibilidad de un correcto monitoreo del sistema.

Existen varios impedimentos a la hora de definir los parámetros en el maquinado de piezas 3D las cuales afectan directamente la flexibilidad de las piezas a velocidades de rotación altas. Otra variable a considerar es el uso de múltiples herramientas en el proceso. Debido a lo anterior y la complejidad de los modelos utilizados para la disminución del chatter lo cual dificulta la definición de límites de estabilidad afectando directamente la productividad del proceso al definir los parámetros de operación

controlados por el maquinista. De la misma forma dicha complejidad afecta a su vez la definición de algoritmos de control que cubren un amplio espectro de operación.

(J.Monnin, F.Kuster, & K.Wegener, 2014) Por tal motivo se hace necesario identificar en qué sectores de la industria el efecto chatter tiene un efecto crítico en la productividad, es por ello que surge el siguiente interrogante.

¿Cuáles son las aplicaciones industriales y las variables que inciden en los efectos de chatter para el proceso de fresado?

Justificación

El siguiente trabajo se ve justificado ya que contribuye al entendimiento completo del sistema-proceso de fresado CNC y las industrias en las que es vital este proceso, además las acciones de control que ayudan, en primer lugar, a la elección de parámetros menos conservadores, viéndose reflejado de directa en un aumento en las velocidades de producción. De la misma forma la implementación de un sistema de monitoreo evita de gran manera la necesidad de intervención del operario dentro del proceso, por lo que significa un ahorro de tiempos y movimientos. (Sanchez Navas, 2020) Lo cual se relaciona en la implementación de tecnologías que promuevan el desarrollo de la industria 4.0. por ello es necesario el Desarrollo de un dispositivo de monitoreo de procesos de fresado CNC para reducción de los efectos de chatter a través de control activo de parámetros de maquinado propuesto por la Universidad Antonio Nariño.

Para un sistema de medición propuesto para máquinas de control numérico en un proceso de fresado. Este sistema es innovador teniendo en cuenta que los actuales trabajos que refieren a estos temas no consideran cambios en la dirección en el maquinado y diferentes tipos de herramientas. Además, esto conlleva a la elección de sensores con una resistencia mayor a las condiciones extremas de trabajo a las cuales se ven sometidas este tipo de maquinarias en la industria. Detectando chatter y de este modo realizar acciones preventivas y correctivas durante el proceso para una amplia gama de procesos de fresado CNC. Este tipo de sistema es novedoso teniendo en cuenta la información teórica que posee en forma de base de datos, incluyendo en su contenido

estudios y experimentos de diferentes tipos de procesos involucrados en las diferentes industrias donde el fresado tiene suma importancia.

El siguiente proyecto contribuye a la identificación de las industrias donde el fresado es una actividad clave en su proceso productivo, en los cuales se busca reducir los reprocesos y a su vez el aumento de la productividad. Para lo cual es vital el desarrollo de la investigación previa al desarrollo de un dispositivo de monitoreo de procesos de fresado CNC. Ya que se necesita tener un informe completo de las áreas en las cuales el efecto chatter tiene un grado alto de criticidad y así mismo un impacto en su productividad, ya que esta información es necesaria en las temáticas de investigación y trascendencia de los resultados a nivel regional y nacional. Debido a esto se cuenta con la colaboración de instituciones a nivel nacional como PMTec Engineering y Universidad Javeriana, al igual que instituciones como la UFPR y la EESC-USP en Brasil. Debido a que, tanto como con la Universidad Javeriana como con la EESC-USP se tienen convenios vigentes, los resultados del proyecto tienen una mayor trascendencia ya que la publicación de productos de investigación fortalece las actividades dentro de este convenio.

Objetivos

General

Identificar los sectores industriales y aplicaciones en los que el efecto chatter genera criticidad en los resultados de las piezas en un proceso de fresado CNC.

Específicos

Recolectar información teórica y aplicada sobre efectos de chatter en el proceso de fresado.

Analizar variables que inciden en el proceso de fresado CNC y la ocurrencia del efecto chatter.

Establecer el marco de aplicación de un dispositivo de monitoreo de procesos de fresado CNC para reducción de los efectos de chatter.

Marco Referencial

Antecedentes

(J.Munoa, X.Beudaert, Z.Dombovari, & Y.altintas, 2016) Chatter suppression techniques in metal cutting. En esta investigación se hace una exploración de las diferentes técnicas de supresión de chatter también llamada vibración autoexcitada ya que según la misma se demuestra que esta genera daños graves en el producto final dando algunas soluciones al proceso con enfoques de diseño facilitando así un panorama completo de los enfoques de los métodos disponibles para estabilizar el proceso de corte llevando así una descripción de cada técnica y su aplicación en la industria llegando un diagrama de estabilidad para dar un valor cualitativo del proceso de vibración el cual es un factor para seleccionar la técnica de supresión de vibración óptima.

(Jeremie, Fredy, & W Konrad, 2014)Optimal control for chatter mitigation in milling—Part 1: Modeling and control design. El presente artículo menciona la eficacia de algunos métodos estructurales activos los cuales contribuyen a mitigar las vibración en el proceso de fresado ya que se usa un sistema activo para reducir en un porcentaje de 30% aproximadamente las amplitudes de la herramienta ayudando a la estabilidad de la fresadora minimizando la influencia de la fuerza de corte, teniendo en cuenta la formulación y modelados como estrategias Activas para la solución al chatter, mediante una simulación permitiendo comparar su principio de funcionamiento y la validación del concepto propuesto.

(Uhlmann, Mahr, & D oberschimidr, 2011) Development of an Active Work Piece Holder for Vibration Assisted Micro Milling. El presente artículo informa sobre las

piezas de trabajo activas en un proceso de fresado asistido. Donde el control de tiempo es importante para el control de la producción lo que permite de cierta manera la sistematización de algunas condiciones de corte durante el fresado y la estructura de la superficie de la pieza. Con el tiempo la asistencia por vibración se ha posicionado como una de las prácticas más comunes en los diferentes procesos de mecanizado como rectificado, fresado, pulido y eléctrico. mecanizado de descarga. Al inducir vibraciones en la herramienta y / o la pieza de trabajo en procesos donde la optimización de términos superficiales es importante, vibraciones y comportamiento de la pieza dentro del proceso.

(Dequing, K Tianrong, S Albert, & C Zichen, 2009)Magnetorheological fluid-controlled boring bar for chatter suppression. En el siguiente artículo se desarrolla un método de supresión de vibraciones en una barra controlada por un fluido especial (magnetorreológico), con el fin de suprimir de vibraciones, dicho fluido cambia las cualidades físicas de la pieza someténdola a un campo magnético superficial, usado para ajustar la rigidez de la barra de perforación suprimiendo la vibración teniendo como ventaja de poder ajustar la fuerza del campo para lo que se establece un modelo dinámico de un barra de madrinar controlada por fluido analizando la estabilidad de perforación llevando a cabo experimentos a diferentes velocidades de husillo viendo en los resultados de la simulación muestran que la vibración regenerativa se puede suprimir de manera efectiva ajustando la frecuencia natural del sistema.

(Y. Yang, J. Muñoa, & Y. Altinas, 2010)Optimization of multiple tuned mass dampers to suppress machine tool chatter. Este documento nos muestra el diseño óptimo de amortiguadores de masa sincronizados aumentando la resistencia al chatter de la

maquina y herramienta, ya que para la interfaz existen variables que afectan de manera negativa función de respuesta por ello el diseño de TMD reduce la magnitud negativa con el fin de tener masas iguales y sus valores de amortiguación y rigidez mejorando la resistencia a la vibración según los algoritmos minimax, pese a que no son más resistentes a las incertidumbres en la amortiguación y parámetros dinámicos de entrada de manera general para ello el diseño de amortiguador sintonizado propuesto y la estrategia de optimización se ilustra experimentalmente para aumentar la profundidad de los cortes sin vibraciones.

(N.D.Sims, B.Mann, & S.Huyanan, 2008)Analytical prediction of chatter stability for variable pitch and variable helix milling tolos. En el presente artículo se formula una herramienta de semi discretización de tipo espacial y temporal de la herramienta teniendo una gran diferencia en los actuales métodos de fresado ya que se puede predecir la estabilidad de la herramienta, posteriormente se formula en una semi discretización promediada en el tiempo asumido de coeficiente de fuerza de corte promediado en el tiempo además de tener en cuenta elementos de tipo finito en relación al tiempo los cuales nos ayudan a predecir la estabilidad del proceso con la variable de ángulo de la hélice usando simulaciones de modelos en el dominio del tiempo.

(Quintana & Ciurana, 2011)Chatter in machining processes: A review. Este artículo revisa el estado de la investigación sobre el problema del chatter y clasifica teniendo en cuenta que el chatter puede ocurrir en las operaciones de mecanizado Limitando en la mayoría de los casos la capacidad de producción y la calidad de la pieza final. Por este motivo, es un tema de interés industrial y académico en los sectores

industriales durante muchos años. Teniendo como referencia una gran cantidad de investigaciones desde finales de la década de 1950 para resolver el problema del chatter. Los investigadores han estudiado cómo detectar, identificar, evitar, prevenir, reducir, controlar o suprimir dicho problema. Existen métodos para asegurar un corte estable en los que usan efecto lobbing fuera o dentro del proceso y aquellos que modifican el comportamiento de manera pasiva o activa.

(Neil D.Sims, 2007)Vibration absorbers for chatter suppression: A new analytical tuning methodology En el presente artículo se muestra una solución novedosa de tipo analítico frente al problema del chatter ya que para ello solo se habían desarrollado estrategias de ajuste desde hace 50 años sin embargo, este problema tiene una singularidad en la estabilidad de vibración para lo cual las metodologías existentes ya no son óptimas, por ello los amortiguadores de vibración toman fuerza como la solución para el chatter en la industria actual usando enfoques numéricos o gráficos disminuyendo los defectos de la pieza final sin ajustar de manera continua la rigidez y amortiguación.

(I.Mancisidor, J.Munoa, & R.Barcelona, 2015)Coupled model for simulating active inertial actuators in milling processes. En el presente artículo se propone un modelo nuevo acoplado, teniendo en cuenta datos experimentales y una simulación del proceso de corte y el efecto de un nuevo dispositivo de tipo inercial en el dominio del tiempo teniendo en cuenta que chatter ha tenido muchas propuestas con el fin de disminuir su criticidad dentro de los diferentes procesos industriales como dispositivos de control activo, actuadores inerciales, entre otros, el modelo de este artículo permite simular diferentes estrategias de control, filtros y actuadores con el fin de mejorar en gran medida

el proceso de fresado, mostrando varias aplicaciones y verificando sus predicciones de operaciones de corte reales.

(Zhang, Wu, He, & Huan Zhao, 2015) Model predictive control to mitigate chatters in milling processes with input constraints. El presente artículo desarrolla un método de control predictivo de modelo activo para los procesos de fresado disminuyendo así la amplitud de la vibración logrando una mayor eficiencia pese a la complejidad dinámica del chatter la cual incluye retrasos y acabados deficientes el modelo se adecua buscando la optimización del horizonte de retroceso ara abordar las incertidumbres del sistema y restricciones de entrada garantizando una mejora en la estabilidad y disminución de vibraciones. Para mostrar la eficacia del modelo propuesto se demuestran ejemplos ilustrativos denotando la superioridad del MPC propuesto.

(M.Zatarain, I.Bediaga, J.Muñoz, & R.Lizarralde, 2008) Stability of milling processes with continuous spindle speed variation: Analysis in the frequency and time domains, and experimental correlation. En el presente artículo se tiene en cuenta la teoría pasada a las diferentes metodologías sobre el análisis de la variación continua de la velocidad del husillo en los procesos de fresado por lo que se resalta el análisis en el dominio de la frecuencia y las diferentes variaciones de velocidad, ya teniendo resultados concretos se comparan con los obtenidos por semidiscretización e integración temporal así como compararlos con los obtenidos mediante experimentación discutiendo las discrepancias de los resultados obtenidos para posteriormente proponer un análisis de la evolución de la estabilidad durante periodos de variación de velocidad.

(A.Al-Habaibeh & N.Gindy, 2000) A new approach for systematic design of condition monitoring systems for milling processes. En el presente artículo se describe el método ASPS (sistema automatizado de selección de procesamiento sensorial y de señales) el cual es creado con el fin ayudar en el diseño de sistemas de monitoreo en las maquinas u operaciones de mecanizado, el cual es basado en sistemas Taguchi para el diseño de un programa experimental que investiga el número y tipo de sensores mas apropiado para detectar falacias en los procesos de fresado, además de que las condiciones de la herramienta de corte se toma como una aplicación del enfoque de la propuesta. El objetivo principal es la reducción en la cantidad de sensores dentro de un proceso necesarios para la detección de fallas necesarios.

(W.Cheng, J.Xue, & T.Dunbing, 2009) Deformation prediction and error compensation in multilayer milling processes for thin-walled parts. El presente artículo considera la deformación del mecanizado de la capa anterior tendrá una influencia en el corte de la capa de corte actual, por esta razón fue necesario establecer un modelo dinámico con el fin de predecir la deformación en el mecanismo la cual se ve reflejada en cierto grado en los cortes superficiales a la pieza, el acoplamiento de las capas de la pieza y su relación con la fuerza de corte siendo validada de forma comparativa entre el resultado simulado y el que es dado mediante experimentos proponiendo soluciones con enfoques de compensación activa de errores, el cual se ve compensado en cada capa.

(Z.Dombovari, A.Iglesias, M.Ztarain, & T.Insperger, 2011) Prediction of multiple dominant chatter frequencies in milling processe. En el artículo tratado las amplitudes correspondientes a los diferentes procesos y las frecuencias de cada uno de los vectores

de forma individual las cuales tienen particularidades sencillas de identificar analizándolos en una matriz de transición de Floquet, para el método utilizado en la investigación sin incrementos en los costos tecnológicos dicho método tiene un área de utilización enfocada en los componentes de frecuencia dominante los cuales ayudan en la identificación de las interacciones entre los modos y velocidad del husillo.

(T.Somkiat & P.Narongsak, 2012) Development of chatter detection in milling processes. El objetivo de este artículo es desarrollar una investigación sobre la detección de chatter en procesos de fresado, sin tener en cuenta las condiciones de corte en un proceso de datos sin relevancia de tiempo e integrando fuerzas de corte dinámicas, En dicha propuesta se introducen tres parámetros relacionados con la fuerza y según ella la vibración del corte. El algoritmo fue implementado en un centro de mecanizado de control numérico por computadora detectando la vibración en los procesos de chatter y la falta de este exclusivamente durante el proceso mostrado los valores obtenidos en umbrales de valor determinados.

(Y.Caixu, G.Haining, & L.Xianli Y.Steven, 2019) A review of chatter vibration research in milling. En este artículo se resume el estado actual del arte en la investigación referente al chatter y como predecirlo y mitigarlo, pasando por las técnicas experimentales donde se utilizan métodos de dominio de tiempo-frecuencia con el fin de resolver las ecuaciones de un proceso de fresado con parámetros de corte específicos y por las tecnologías de control y supresión de vibraciones ya que este es uno de los mayores desafíos en la industria durante décadas, pese al increíble avance de la tecnología el control aún tiene deficiencias mínimas llegando a conclusiones sobre la

distinción de la tecnología en el control pasivo del chatter y la relación de la amortiguación del proceso y la vibración y estabilidad del proceso de fresado.

(B.R.Patel, B.P.Mann, & K.A. young, 2008) Uncharted islands of chatter instability in milling. En el presente artículo se menciona evidencia concluyente de que pueden existir algunas zonas de chatter de las vibraciones en el proceso de fresado ya que estas se muestran debido al ángulo de la fresa en la herramienta separando los periodos de corte, donde el desarrollo de un modelo de fuerza analítico se describen herramientas de ángulo de fresa. Los resultados teóricos muestran la tendencia de estabilidad en inmersiones radiales y de ángulos además de mostrar nuevos resultados gracias al análisis de efectos finitos, para ecuaciones de retardo propuestas en modelos de espacio y predicciones mediante pruebas experimentales.

(I.Minis, R.Yanueshevsky, & A.Tembo, 1990) Analysis of Linear and Nonlinear Chatter in Milling. En este trabajo se presenta generalidades de un modelo matemático que muestra los aspectos de la dinámica del fresado, dicho modelo se vuelve de tipo lineal si toda la pieza está en contacto con la fresa a lo largo del proceso, donde se utiliza un nuevo enfoque respecto a la predicción de la profundidad del corte también se examina la variable no lineal, posteriormente se comparan los resultados de las ecuaciones de fresado mostrando que el método propuesto es mucho más preciso para caos prácticos.

(L.Huaizhing & L.Xiaoping, 2000) Modelling and simulation of chatter in milling using a predictive force model. El artículo a mencionar nos muestra un modelo basado en el método runge-kutta en cual se emplea para resolver las ecuaciones

diferenciales que gobiernan la dinámica del sistema de fresado donde se explica la dinámica obteniendo resultados precisos, además se desarrolla este sistema basado en Windows para la vibración de forma predictiva representada por desplazamientos de la herramienta y las variaciones de la fuerza de corte, partiendo de las propiedades del material de la herramienta y pieza, las cuales son verificadas con resultados experimentales.

(C.Hongrui, L.Yanguo, & H.Zhengjia, 2013) Chatter identification in end milling process using wavelet packets and Hilbert–Huang transform. Este artículo muestra innovación respecto a la identificación de chatter en la parte final del proceso de fresado usando dos técnicas para el procesamiento de señales las cuales funcionan como un reproceso eliminado el ruido de la señales medidas y así mismo mejorar el rendimiento del método propuesto, en primer lugar se identifican y descomponen las señales para clasificarlas, posteriormente se usan las señales más prometedoras para agruparlas y construir nuevas señales, por último se calculan las desviaciones estándar para detectar chatter e identificar sus niveles y los resultados demuestran que el método es eficaz a la hora de identificar vibraciones.

(L.Changfu, Z.Lida, & N.Chenbing, 2018) Chatter detection in milling process based on VMD and energy entropy. En el artículo presente se muestra una manera novedosa para la identificación de chatter mediante la descomposición en modo variacional, ya que cuando el proceso muestra un grado de vibración la energía será absorbida por las bandas de frecuencia de vibración. Simulando tres condiciones de corte en frecuencias de vibración basadas en entropía de energía para verificar la efectividad

del método el cual se empleó con éxito y mostro picos críticos de vibración en cada una y los resultados experimentales se ven prometedores para disminuir el efecto chatter dentro del proceso de fresado.

(M.Cordes, H.Wolfgang, & A.Yusuf, 2019) Chatter stability in robotic milling. El artículo a tratar nos muestra la intención de la industria en acoplar el proceso de fresado de piezas aeroespaciales a la robótica, ya que estas piezas son más ligeras y fáciles de reajustar, pese a esto los robos no son diseñados en los materiales rígidos usados por las aeronáuticas por lo que no tienen amplitud en la aplicación de fresado dentro de su industria, mostrando la dinámica de las piezas que si se podrían realizar mediante fresado aplicadas en el cuerpo de un robot que poseen términos específicos de acoplamiento mostrando así que las piezas de aluminio son viables con poco chatter a una velocidad baja, sin embargo las piezas de titanio a baja velocidad presenta falencias en cuanto a chatter.

(R.Rahnama, M.Sajjadi, & S.Park, 2009) Chatter suppression in micro end milling with process damping. En el presente artículo se muestran uno de los principales desafíos en el micro mecanizado la cual es la vibración regenerativa, que es una vibración inestable que genera un desgaste mayor de lo habitual y agrietamiento de la herramienta. Con el fin de predecir la estabilidad de la vibración es necesaria una dinámica en la punta de la herramienta y una ligera variación en las variables de corte. Además de ello se utilizó una interfaz de volumen equivalente entre la herramienta y la pieza de trabajo con el fin de determinar el parámetro de amortiguación del proceso. Teniendo en cuenta que no es posible tener una dinámica exacta mediante pruebas de martillo de impacto directo

es necesario obtenerlo directamente empleando el método de acoplamiento de recepción, y los coeficientes de corte obtenidos a partir de pruebas de corte experimentales.

(M.Lamraouiab, M.Thomasa, M.Badaouiib, & F.Girardinc, 2014) Indicators for monitoring chatter in milling based on instantaneous angular speeds. La investigación mostrada en este artículo sobre el monitoreo del chatter en procesos industriales de velocidades altas donde el dominio angular es uno de los términos claves dentro de la investigación, para ello se llevaron a cabo pruebas de corte experimentales en la operación de fresado con aluminio mostrando la fuerza de corte angular y a su vez el dominio angular de estas. Para lo cual es necesario describir, analizar y clasificar datos que confirmen la relevancia de las fuerzas de corte para el control de la vibración y la buena correlación entre las fuerzas de corte y el IAS del husillo.

(Y.Altintasa, G.Stepanb, D.Merdola, & Z.Dombovarib, 2008) Chatter stability of milling in frequency and discrete time domain. La investigación mostrada en este artículo no menciona las leyes de estabilidad de vibración respecto al tiempo discreto y frecuencia de operaciones de fresado en conjunto. Promediando los factores relevantes como la dirección las cuales dependen de los intervalos de corte, por ello cuando el proceso es muy intermitente, los lóbulos de estabilidad se vuelven más precisos gracias a las altas velocidades y baja profundidad en el corte mostrando armónicos más altos respecto a la frecuencia o usando el método de semi discretización. Comparando las soluciones de estabilidad numérica con las soluciones de tipo experimental proporcionando detalles matemáticos completos de ambas soluciones de estabilidad fundamental.

Marco Teórico

Dentro del marco establecido para el siguiente trabajo se muestran algunas teorías, las cuales nos proporcionan bases para tener un conocimiento completo de la terminología usada dentro del documento facilitando la comprensión de estos.

Vibraciones Mecánicas

La vibración mecánica se puede definir como un transporte de energía en movimiento que altera la posición de equilibrio de un sistema mecánico y que determina su comportamiento dinámico. (White, 2010) En el caso de vibración en procesos de corte, los problemas de autoexcitación en el sistema, pueden ser ocasionados por modos de gran masa y baja frecuencia (20-200 Hz) que están asociados con la estructura de la máquina-herramienta, o modos locales de alta frecuencia (0,5-10kHz) relacionados con la flexibilidad del husillo y la herramienta. (Munoa J. , Beudaert, Dombovari, Altintas, & Budak, 2016) Pero esto no exacto, ya que las propiedades dinámicas pueden variar debido a cambios en la orientación y posición de la herramienta o a causa del proceso de remoción de metal.

Para que un sistema mecánico vibre, debe poseer dos propiedades: masa y rigidez, la cual interviene como fuerza restablecedora, tendiendo a recobrar el estado de equilibrio, por lo tanto, todos los sistemas son susceptibles a vibrar, sin embargo, no todos poseen el mismo tipo de vibración, pues esto depende de varios factores y parámetros. Por consiguiente, podemos mencionar tres tipos de vibración mecánica en los

procesos de corte: vibración libre, que es producida por impacto. Vibración forzada, ocasionada por un desequilibrio entre engranajes, cojinetes, husillos y otras herramientas. Y finalmente vibración auto excitada, ocasionada por la fuerza alterna producida en la interacción entre herramienta y pieza de trabajo. (Yue, Gao, Liu, Liang, & Wang, 2019)

Cabe resaltar que una vez determinadas las causas de la vibración libre y la vibración forzada, es relativamente sencillo evitarlas, reducirlas o eliminarlas, por el contrario, la vibración auto excitada sigue en estudio y se le ha dedicado múltiples investigaciones que buscan desarrollar tecnologías capaces de detectarla y minimizarla, ya que como se ha mencionado anteriormente esta vibración aumenta el desequilibrio de un sistema provocando perturbaciones y afectando negativamente a la calidad de piezas obtenidas.

Existen varias clasificaciones de la vibración, además de las previamente mencionadas, la vibración se puede dividir en tres tipos dependiendo del mecanismo de autoexcitación específico: vibración por fricción, causada por la fricción mutua entre la herramienta y la pieza de trabajo en la misma dirección que la velocidad de corte. Vibración de acoplamiento de modo, causada por el acoplamiento de dos modos naturales de vibración debido a la ligera diferencia entre la rigidez de los elementos vibrantes en dos direcciones diferentes. Y vibración regenerativa, que es causada por diferencias en el espesor de viruta, resultante de la diferencia entre el patrón de vibración formado durante un proceso de corte previo y la vibración de desplazamiento de un proceso de corte posterior. (Yue, Gao, Liu, Liang, & Wang, 2019)

La vibración auto excitada, está sujeta a muchos factores, como la rigidez dinámica de la maquina y/o la herramienta, los parámetros de corte, la pieza de trabajo y

las características de la herramienta. Matemáticamente, el caso más habitual se representa por medio de una ecuación diferencial de retardo (DDE, por sus siglas en inglés), con coeficientes dependientes del tiempo:

Donde, $r(t)$ indica el vector de desplazamiento en coordenadas cartesianas, mientras que M , C y K denota las matrices de masa, amortiguación y rigidez del sistema. Por lo tanto, el lado izquierdo representa un oscilador amortiguado de múltiples grados de libertad que modela el sistema formado por la herramienta, portaherramientas, husillo, estructura de la máquina herramienta, fijación y pieza de trabajo. La fuerza de corte en el lado derecho está formada típicamente por tres términos: la parte estacionaria periódica F_s que causa vibraciones forzadas, el segundo término es la parte dinámica asociado con el efecto regenerativo y el tercer término es la fuerza de amortiguación del proceso F_{pd} . Además, el término de fuerza dinámica implica otros parámetros como el coeficiente de fuerza de corte K_t , la profundidad de corte a , el retardo regenerativo τ y la matriz direccional cartesiana $A(t)$, que incluye la proyección de la vibración en la dirección de la viruta y la proyección de la fuerza de corte en las direcciones cartesianas. (Munoa J. , Beudaert, Dombovari, Altintas, & Budak, 2016).

Proceso de Fresado

En el proceso de fabricación de piezas de metal se encuentran diferentes tipos de mecanizado máquina-herramienta, entre los que se encuentran en cepillado, brochado,

aserrado, taladrado, mandrilado, torneado, planeado y fresado. La diferencia con este último respecto a los anteriores, es que en la fresadora es posible elaborar piezas de diferentes formas y longitudes, también permite el uso de diferentes herramientas de corte al mismo tiempo, entre otras características, pero principalmente porque tiene su mesa de trabajo fija y el movimiento del proceso lo ejecuta una herramienta rotativa de alta velocidad que corta progresivamente determinada cantidad de material.



Ilustración 1. Herramientas de fresado Fuente: (Bitfab, 2021)

Los movimientos que realice una fresadora dependen de la cantidad de ejes que posea, entre los más comunes se encuentra: De tres ejes que realizan desplazamiento vertical, horizontal y oblicuo (Ilustración 2.A). De cuatro ejes, que es similar a la anterior, pero a esta se le añade un movimiento de giro de la pieza sobre alguno de los ejes respectivos (Ilustración 2.B), y finalmente de cinco ejes, a la que se le adiciona un movimiento de giro de la pieza con respecto a la de cuatro (Ilustración 2.C). (Sanchez Navas, 2020)

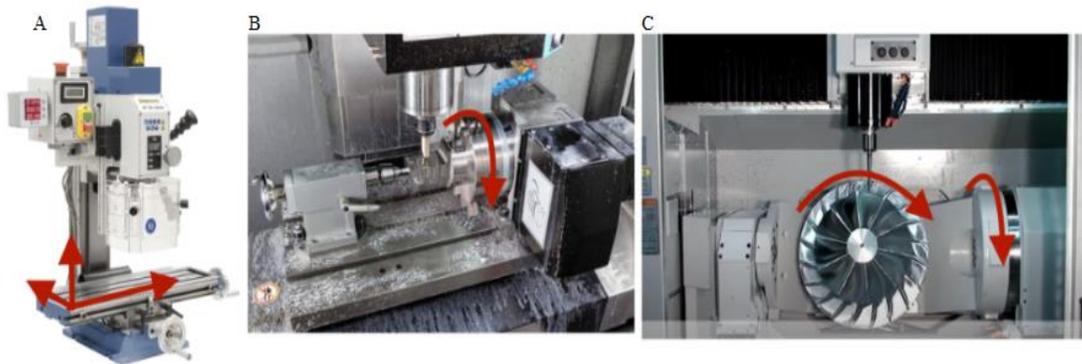


Ilustración 2. *Clasificación según la cantidad de ejes*, Recuperado de (Bitfab, 2021)

Igualmente, podemos clasificar tres operaciones básicas presentes en el proceso de fresado: Fresado cilíndrico (Ilustración 3.A), en el que el eje de rotación está ubicado paralelamente a la pieza de trabajo. Fresado frontal, en donde la fresa se sitúa en el husillo y tiene un eje rotativo perpendicular a la pieza de trabajo (Ilustración 3.B). Finalmente, Fresado de acabado, en el cual se combina los dos tipos anteriores y/o se inclinan en caso de querer una superficie cónica (Ilustración 3.C).

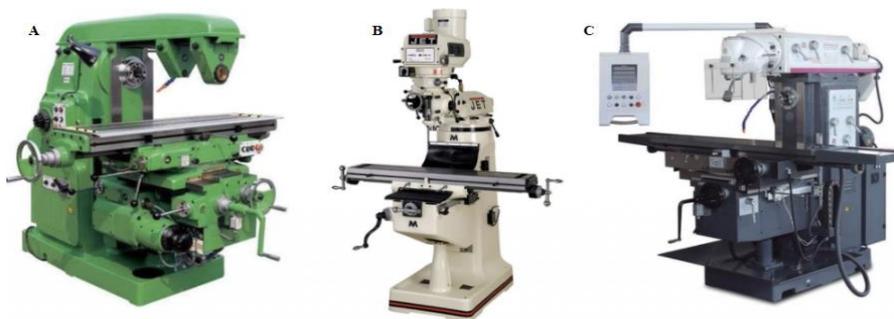


Ilustración 3. *Clasificación según su operación*, Recuperado de (Bitfab, 2021)

Chatter en el proceso de fresado

En 1907, Frederick Taylor estudio las vibraciones y declaro que “el chatter es el más oscuro y delicado de todos los problemas que enfrenta el maquinista, y en el caso de piezas fundidas y forjadas de formas diversas, probablemente no se puedan idear reglas o fórmulas que guíen con precisión al maquinista” (Frederick , 1907)

Desde las primeras observaciones, se describió el efecto regenerativo como la principal causa del Chatter, y durante los últimos 65 años, se han propuesto varias técnicas para suprimirlo, este fenómeno se ha convertido en una de las principales preocupaciones y los recientes avances en la industria, principalmente en el sector aeroespacial, de moldes y de automoción, han favorecido una evolución considerable en las máquinas-herramienta, que cada vez son más potentes, precisas y automáticas. Pero con ellas, también surgen nuevas limitaciones y desafíos, como las vibraciones de la máquina. (Munoa J. , Beudaert, Dombovari, Altintas, & Budak, 2016)

El chatter regenerativo es el más usual en procesos de fresado, y se produce cuando la herramienta pasa sobre una pieza que ya ha sido anteriormente mecanizada. En ocasiones, la superficie de la pieza suele tener imperfecciones, lo que genera un exceso de material o exceso de viruta. Esta aparición de vibración auto excitada, además de impedir que se obtengan los acabados superficiales requeridos, disminuyen la vida útil de herramientas y componentes de la máquina.

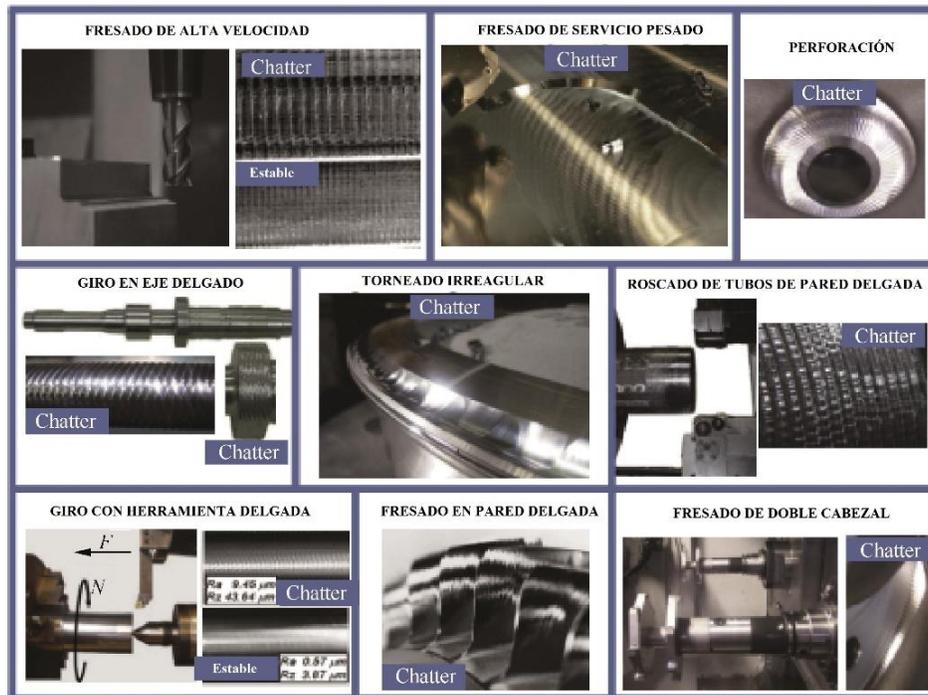


Ilustración 4. *Problema de chatter en diferentes aplicaciones*, Recuperado de (Munoa J. , Beudaert, Dombovari, Altintas, & Budak, 2016)

Se conocen diversos tipos de Chatter los cuales se producen por razones diferentes; El chatter tipo A, que se produce a medida que la herramienta presenta una fuerte vibración en dirección de avance de la herramienta. El chatter tipo B, es producido en herramientas con una fuerte tendencia a vibrar en la dirección de la velocidad de corte. El Chatter de pieza, se genera como su nombre lo indica sobre la pieza, esta tiene una propiedad local que varía según la herramienta y tiene su propio intervalo de frecuencia. El Chatter de herramienta, es el generado por cada herramienta que transmite energía hacia el sistema, y dependiendo del tipo de herramienta, la transmisión de energía es mayor o menor. El Chatter de máquina, es el generado por procesos de desgaste, se

caracteriza por tener una baja frecuencia y transmisión de energía entre sus elementos.

(Sanchez Navas, 2020)

Marco Conceptual

Viruta: Hoja delgada que se saca con el cepillo u otras herramientas al labrar la madera o los metales, y que sale, por lo común, arrollada en espiral. (RAE, 2014)

Fresadora: La máquina de fresar o fresadora es una máquina herramienta de movimiento continuo, destinada al mecanizado de materiales por medio de una herramienta de corte. (Escuela colombiana de Ingeniería, 2007)

Amortiguación: Aprovisionamiento de suministros suficientes para que las operaciones funcionen sin problemas. (Robertson, 2017)

Vibración: Movimiento oscilatorio provocado por la fluctuación de las partículas que lo conforman, respecto a una posición de equilibrio. (Laboratorio virtual riesgos laborales, 2018)

Grados de Libertad: Número mínimo de velocidades independientes necesarias para definir el estado cinemático de un sistema mecánico. (SIN PAR GROUP, 2019)

Oscilaciones Amortiguadas: Disminución de energía mecánica debido a algún tipo de rozamiento. (Reliabilityweb.com, 2018)

Frecuencia: La frecuencia es el número de veces que se completa un ciclo de oscilación y se mide en hercios (Hz). (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, s.f.)

Mecanizado: El mecanizado es el conjunto de procesos industriales (corte, marcado, prensado, agujereado, etc.) realizados en una pieza de materia prima. (Feros Planes , 2019)

Husillo: El husillo es un mecanismo destinado a transmitir el movimiento en ciertos elementos de las fresadoras y otras máquinas industriales que, mediante un tornillo sinfín, convierte un movimiento giratorio en un movimiento rectilíneo. (NC Service, 2021)

Criticidad: Indicador relacionado al riesgo que permite constituir la jerarquía de procesos, sistemas y equipos, facilitando la toma de decisiones acertadas y efectivas. (Reliabilityweb.com, 2018)

Proceso Industrial: Conjunto de operaciones, que se llevan a cabo en un determinado tiempo para transformar un número de productos. (Infaimon, 2018)

Modos de Vibración: Los movimientos de vibración de una molécula se pueden descomponer en oscilaciones en las que los átomos se mueven en fase y que se llaman modos normales de vibración. (Universidad de Alcalá).

Diseño Metodológico

Tipo y Enfoques de Investigación

Para la presente investigación se abordará un diseño de tipo descriptivo, de tipo documental y un enfoque cualitativo, ya que la investigación busca identificar los sectores de la industria en los que el efecto chatter genera criticidad en el acabado de las piezas ya que en un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, para así y valga la redundancia describir lo que se investiga y junto con un enfoque de investigación de tipo documental con el fin de recopilar y seleccionar información a través de la lectura de documentos, libros, revistas, grabaciones, filmaciones, periódicos, bibliografías, entre otros. (C. Roberto Hernandez Sampieri, 1997) Y el enfoque cualitativo se aborda teniendo en cuenta que los criterios de criticidad de los procesos son definidos por las empresas y usuarios del proceso de fresado y esta información será establecida a partir de revisiones sistemáticas en bases de datos académicas, fuentes de información sectoriales y consultando directamente a los actores de procesos industriales. La consulta de información se realizará a través de una matriz de estructuración de información de fuentes académicas e instrumentos de recolección de información primaria como entrevistas y visitas de campo.

Método de Investigación

El método aplicado para esta investigación es el deductivo ya que este permite determinar las características específicas en un entorno particular que estén en estudio en base a una serie de proposiciones veraces, mediante este también se derivan las consecuencias particulares o individuales de las conclusiones logradas (Jose Luis, 2014).

Las técnicas de recolección de información que se usarán son principalmente las siguientes, técnica delphi que consiste en un método para realizar proyecciones, en la cual se conforma un grupo de expertos a los cuales se les pregunta su opinión sobre un tema en específico pensando a futuro buscando un juicio intuitivo para la toma de decisiones. (C. Roberto Hernandez Sampieri, 1997) entrevistas a actores del sector industrial y revisión sistemática de bases de datos académicas como fuentes de información secundaria.

Técnicas de recolección de datos

El proyecto de investigación se realizará en tres fases metodológicas de la siguiente manera:

Fase 1. Recolección de información teórica y aplicada del sector de aplicación de la temática.

Para dar cumplimiento a la primera fase se buscó información teórica en bases de datos académicas, según el acceso disponible de la biblioteca virtual de la Universidad Antonio Nariño, los criterios de selección para identificar los artículos y documentos que se usarán serán los siguientes: fecha de publicación, área y sub área de estudio, zona geográfica, sector de aplicación, métricas de publicación e impacto de la publicación, entre otros.

Posteriormente dicha información fue organizada y clasificada según criterios mencionados anteriormente para la selección además de facilitar su entendimiento, con el fin de extraer información relevante que aporte bases teóricas a la investigación.

Necesarias para recolectar información primaria con preguntas específicas realizadas a expertos, apoyando la información obtenida en visitas o encuentros virtuales con empresas de sectores industriales que usen procesos de fresado estableciendo la criticidad del chatter en dichos procesos.

Fase 2. Análisis de variables que inciden en el proceso de fresado.

Con la información obtenida previamente se realizó una identificación de las variables críticas en los procesos de fresado según los documentos y la información primaria recolectada en la fase 1. Para esto se organizarán las variables en una matriz y se realizará una caracterización de cada una estableciendo su incidencia en el proceso.

Fase 3. Identificación del marco de aplicación de un dispositivo que identifique los efectos de chatter en el proceso de fresado.

En la última fase fue necesario realizar un informe de aplicación de un dispositivo de identificación de efectos chatter en los procesos de fresado, en el que se resalten las características del sector y de las piezas que se fabrican en cada uno de los sectores. Este informe contará con una matriz de clasificación y caracterización del sector de aplicación.

Desarrollo del Proyecto

Fase 1, Recolección de información

Para la recolección de datos fue necesaria la utilización de motores de búsqueda que aportaran una perspectiva teoría como lo son sciencedirect, Scopus, springer, web of science, entre otras y que a su vez aplicara en sectores de interés en la industria como ASME Digital colección, IEEE Xplore y OSTI.GOV. Dándole importancia a las revistas basados en su factor de impacto o cuartil y el país del cual son dichas revistas, de las cuales se tomaban los artículos referidos mencionando la importancia dentro del campo de estudio de estas.

Tabla 1. *Recolección de datos primarios*

Título	Autor	Revista	Año	País	Índice H	Quartil
Indicators for monitoring chatter in milling based on instantaneous angular speeds	Lamraoui, M; Thomas, M; El Badaoui, M; Girardin, F	Mechanical Systems and Signal Processing	2014	Estados Unidos	167	Q1
Magnetorheological fluid-controlled boring bar for chatter suppression	Deqing, Mei; Tianrong, Kong; Albert, J. Shih; Zichen, Chen	Journal of Materials Processing Technology	2009	Países Bajos	190	Q1
Model predictive control to mitigate chatters in milling processes with input constraints	Hai-Tao, Zhang; Yue, Wu; Defeng, He; Huan Zhao	International Journal of Machine Tools and Manufacture	2015	Reino Unido	156	Q1
Dynamic model of CNC milling processes in various materials for implementation of a chatter vibration monitoring system	Sánchez Navas, Andrés Felipe	Repositorio institucional	2020	Colombia	N/A	N/A

Título	Autor	Revista	Año	País	Índice H	Quartil
Optimal control for chatter mitigation in milling—Part 1: Modeling and control design	Monnin, Jérémie; Kuster, Fredy; Wegener, Konrad	Control Engineering Practice	2014	Reino Unido	119	Q1
Optimization of multiple tuned mass dampers to suppress machine tool chatter	Yang, Y; Muñoz, J; Altintas, Y	International Journal of Machine Tools and Manufacture	2010	Reino Unido	156	Q1
Prediction of multiple dominant chatter frequencies in milling processes	Dombovari, Zoltan; Iglesias, Alex; Zatarain, Mikel; Insuperger, Tamas.	International Journal of Machine Tools and Manufacture	2011	Reino Unido	156	Q1
Stability of milling processes with continuous spindle speed variation: Analysis in the frequency and time domains, and experimental correlation	Zatarain, M; Bediaga, I; Muñoz, J; Lizarralde, R.	CIRP Annals	2008	Estados Unidos	155	Q1
Suppression of dynamic instabilities (chatter) in high-speed machining by modulating the speed of the cutting tool.	Fuentes Morales, Rosa Fabiola	Repositorio CIATEQ	2017	México	N/A	N/A
Uncharted islands of chatter instability in milling	Patel, B.R; Mann, B.P; Young, K.A.	International Journal of Machine Tools and Manufacture	2006	Reino Unido	156	Q1
Vibration absorbers for chatter suppression: A new analytical tuning methodology	Sims, Neil D.	Journal of Sound and Vibration	2007	Estados Unidos	181	Q1
A review of chatter vibration research in milling	Yue, Caixu; Gao, Haining; Liu, Xianli; Liang, Steven Y; Wang, Lihui	Chinese Journal of Aeronautics	2019	China	50	Q1
Analytical prediction of chatter stability for variable pitch and variable helix milling tools	Sims, N.D; Mann, B; Huayanan, S.	Journal of Sound and Vibration	2008	Estados Unidos	181	Q1

Título	Autor	Revista	Año	País	Índice H	Quartil
Chatter detection in milling process based on VMD and energy entropy	Liu, Changfu; Zhu, Lida; Ni, Chenbing.	Mechanical Systems and Signal Processing	2018	Estados Unidos	167	Q1
Chatter identification in end milling process using wavelet packets and Hilbert–Huang transform	Cao, Hongrui; Lei, Yanguo; He, Zhengjia.	International Journal of Machine Tools and Manufacture	2013	Reino Unido	156	Q1
Chatter in machining processes: A review	Guillem Quintana, Joaquim Ciurana	International Journal of Machine Tools and Manufacture	2011	Reino Unido	156	Q1
Chatter stability in robotic milling	Cordes, Marcel; Hintze, Wolfgang; Altintas, Yusuf.	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	2019	Reino Unido	93	Q1
Chatter stability of milling in frequency and discrete time domain	Altintas, Y; Stepan, G; Merdol, D; Dombovari, Z.	CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology	2008	Países Bajos	49	Q1
Chatter suppression in micro end milling with process damping	Rahnama, Ramin; Sajjadi, Mozhddeh; Park, Simon S.	Journal of Materials Processing Technology	2009	Países Bajos	190	Q1
Chatter suppression techniques in metal cutting	Munoa, J; Beudaert, X; Dombovari, Z; Altintas, Y; Budak, E; Brecher, C; Stepan, G.	CIRP Annals	2016	Estados Unidos	155	Q1
Contribution to the study of the surface roughness obtained by the high speed milling process, in the finishing phase, of tempered steels from molds and dies	Ortiz Marco, Jose Antonio	Repositorio institucional	2018	España	N/A	N/A
Deformation prediction and error compensation in multilayer milling processes for thin-walled parts	Chena, Weifang; Xuea, Jianbin; Tanga, Dunbing; Chena, Hua; Qub, Shaopeng	International Journal of Machine Tools and Manufacture	2009	Reino Unido	156	Q1

Título	Autor	Revista	Año	País	Índice H	Quartil
Comparative study between Conventional and Unconventional Milling	Vásquez Medina, Arístides Martin	Repositorio institucional	2018	Perú	N/A	N/A
Study of the dynamic behavior of different tool setting systems for CNC milling processes	Ossa Aya, David Orlando	Repositorio institucional	2016	Colombia	N/A	N/A
Improving feasibility of robotic milling through robot placement optimisation	Vosniakos, George-Christopher; Matsas, Elias	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	2010	Reino Unido	93	Q1
Machine vision based condition monitoring and fault diagnosis of machine tools using information from machined surface texture: A review	Yuekai, Liua; Liang, Guo; Hongli, Gao; Zhichao, You; Yunguang Ye; Bin, Zhang	Mechanical Systems and Signal Processing	2022	Estados Unidos	167	Q1
Surface Integrity of Ultrasonically-Assisted Milled Ti6Al4V Alloy Manufactured by Selective Laser Melting	Sai, Guo; Wei, Du; Qinghong, Jiang; Zhigang, Dong; Bi, Zhang	Chinese Journal of Mechanical Engineering	2021	China	33	Q2
On-line chatter detection in milling using fast kurtogram and frequency band power Analysis of Tool Chatter in Terms of Chatter Index and Severity Using a New Adaptive Signal Processing Technique	Liu, C.; Gao, X.; Chi, D.; He Y.; Liang, M; Wang, H.c	European Journal of Mechanics, A/Solids	2021	Países Bajos	89	Q1
An Updated Method for Stability Analysis of Milling Process with Multiple and Distributed Time Delays and Its Application	Shrivastava, Y; Singh, B; Sharma, A	Research gate	2017	Suiza	34	Q3
Vibration-free surface finish in the milling of a thin-walled cavity part using a corn starch suspension	Gang, Jin; Wenshuo, Li; Jianxin, Han; Zhanjie, Li; Gaofeng, Hu; Guangxing	Applied Sciences (Switzerland) MPDI	2021	Suiza	52	Q2
		Journal of Materials Processing Technology	2021	Países Bajos	190	Q1

Título	Autor	Revista	Año	País	Índice H	Quartil
High precision and efficiency robotic milling of complex parts: Challenges, approaches and trends	Zhu, Zerun; Tang, Xiaowei; Chen, Chen; Peng, Fangyu; Yan, Rong; Zhou, Lin; Li, Zepeng; Wu, Jiawei	Chinese Journal of Aeronautics	2020	China	50	Q1
Influencia de la estabilidad dinámica en el acabado superficial de moldes y matrices empleados en la fabricación armamentos de infantería	Mariño Cala, Maritza; Diniz, Anselmo; Sanchez, yanier	Jornada Internacional de las Ingenierías Eléctricas, Mecánicas y Ramas Afines JIMEI 2015	2015	Cuba	N/A	N/A
Can mode coupling chatter happen in milling?	Celikag, H; Ozturk, E; Sims, ND	International Journal of Machine Tools and Manufacture	2021	Reino unido	156	Q1
Aportes a la fabricación de micro cavidades mediante fresado para generar superficies con textura	Martinez Pinilla, Juan	Repositorio.unal.edu.co	2018	Colombia	N/A	N/A
Ultrasonic vibration-assisted machining: principle, design and application	Wei-Xing, Xu; Liang-Chi, Zhang	Advances in Manufacturing volume	2015	Estados Unidos	23	Q1
A review of chatter vibration research in turning	Siddhpura, M; Paurobally, R	International Journal of Machine Tools and Manufacture	2012	Reino Unido	156	Q1
Research on chattering occurrence condition in a vibro-impact system	Du, Yanchen; Zhang, Gang	Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control	2019	Reino Unido	25	Q2
Chatter in machining processes: A review	Quintana, Guillem; Ciurana, Joaquim	International Journal of Machine Tools and Manufacture	2011	Reino Unido	156	Q1
Recent progress of chatter prediction, detection and suppression in milling	Zhu, Lida; Liu, Changfu	Mechanical Systems and Signal Processing	2020	Estados Unidos	167	Q1

Título	Autor	Revista	Año	País	Índice H	Quartil
Probabilistic analysis of chatter stability in turning	Huang, Xianzhen; Hu, Mingwei; Zhang, Yimin; Lv, Chunmei	The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	2016	Reino Unido	124	Q1
A review of chatter vibration research in milling	Yue, Caixu; Gao, Haining; Liu, Xianli; Liang, Steven Y.; Wang, Lihui	Chinese Journal of Aeronautics	2019	China	50	Q1
An innovative approach towards defect detection and localization in gas pipelines using integrated in-line inspection methods	Santhakumar, Sampatha; Kanhaiya, Lal; Chaurasiya, A; Pouria, Aryanb; Bishakh, Bhattacharya	Journal of Natural Gas Science and Engineering	2021	Países Bajos	68	Q1
Effect of Friction on Tandem Cold Rolling Mills Chattering	Heidari, Ali; Forouzan, Mohammad Reza; Akbarzadeh, Saleh	ISIJ International	2014	Japón	111	Q1
Online monitoring of tool chatter in turning based on ensemble empirical mode decomposition and Teager Filter	Shrivastava, Yogesh; Singh, Bhagat	Sage journals	2020	Reino Unido	42	Q2

Fuente, (Autores, 2021)

En la anterior tabla se hace una recolección de información intensiva, clasificándola según factores de relevancia, con el fin de sistematizar los datos obtenidos, tales como, Link, título del artículo, nombre de la revista, año de publicación, autor, país de procedencia de la revista, índice H (Túñez, Valarezo, & Marín, 2014) en el cual se mide la calidad profesional basado en la relevancia del artículo y de los científicos teniendo en cuenta la calidad de los trabajos del investigador y la cantidad de citas de estos y por último el cuartil en el cual se clasifican las revistas según su factor de impacto donde se involucra la importancia de la revista en cual estás publicaciones se encuentran.

La tabla tiene un contenido de 45 documentos de revistas importantes en los diferentes sectores industriales, por lo que para ella el cuartil es uno de los factores de mayor influencia, por ello en esta se encuentran 33 de revistas calificadas Q1 como Mechanical Systems and Signal Processing, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Chinese Journal of Aeronautics, entre otras, 4 Q2 entre las que se encuentran Chinese Journal of Mechanical Engineering, Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control entre otras, 1 de Q3 y 7 sin indexación en scopus las cuales en su mayoría son repositorios universitarios.

Para este documento también fue considerada como importante la actualidad de los documentos referidos en el trabajo, intentando que en un mayor parte sean documentos actuales por lo que se encontró 1 artículo del año 2022, 6 del 2021, 4 de 2020, 4 de 2019 y previos al 2019, 30 artículos que en su mayoría presentan bases fundamentadas en la industria del mecanizado y descripciones específicas de los diferentes procesos.

Teniendo en cuenta los aportes académicos de cada documento es necesario evidenciar los principales exponentes de artículos de esta índole mencionando sus países de residencia siendo estos principalmente de Estados Unidos, Países Bajos, Reino Unido y China.

Fase 2, Análisis y clasificación de las variables

Al contar con una base de datos de documentación realizada en la fase uno, es necesario escudriñar y analizar la información para lograr un aporte real a la identificación de características de las revistas para el siguiente trabajo de grado, por ello es necesario realizar la búsqueda en los documentos de los factores de impacto del chatter en los procesos industriales, según lo anterior es necesario dividir la información buscando los sectores en los cuales el artículo tiene relevancia, posteriormente identificar la aplicación industrial del documento y la mención de las variables, combinando esto en un abrebocas del contenido relevante del documento.

Tabla 2, *análisis de enfoque y aplicación*

Documento	Análisis de aplicación
Indicators for monitoring chatter in milling based on instantaneous angular speeds	En esta investigación se realiza un análisis de las fuerzas de corte y velocidades angulares instantáneas para la detección de vibraciones en operaciones de mecanizado. Al aplicarlas con éxito en un caso de fresado de ranuras, se propone utilizar indicadores desarrollados en transcurso de la investigación, combinados con IAS para monitorear la vibración.
Magnetorheological fluid-controlled boring bar for chatter suppression	En esta investigación, realizaron un método de supresión de vibraciones mediante una barra de mandrinado controlada por fluido MR que resulta eficaz en procesos de mecanizado. Sin embargo, cuando las velocidades de rotación cambian, el modelo se debe ajustar y el sistema requiere un

Documento	Análisis de aplicación
	aumento de rigidez, y un mayor efecto de amortiguación, lo cual, debe ser investigado a futuro.
Model predictive control to mitigate chatters in milling processes with input constraints	En este estudio fue creado un modelo de control predictivo (MPC) y luego de analizar variables principales como matrices de masa, amortiguación y rigidez, se desarrolló un esquema efectivo en procesos de mecanizado que además puede mejorarse haciendo ajustes en las limitaciones de entrada y en el horizonte de predicción.
Dynamic model of CNC milling processes in various materials for implementation of a chatter vibration monitoring system	En este estudio, el investigador simuló un sistema de monitoreo para una fresadora CNC trabajando con materiales como acero, acero inoxidable y aluminio, identificando el comportamiento dinámico que puede producir acabado superficial, ruido, y desgaste en la herramienta. Realizando un análisis que arroje las mediciones y la estabilidad del proceso.
Optimal control for chatter mitigation in milling—Part 1: Modeling and control design	En este documento, se presentan dos estrategias diferentes que pueden ser utilizadas en los procesos de molienda para la supresión del chatter. Se formulan dos estrategias, y luego de analizar sus correspondientes variables, se habla principalmente del esquema de estabilización, pues este presenta la ventaja de evitar cualquier disminución de la estabilidad del proceso, lo que

Documento	Análisis de aplicación
<p>Optimization of multiple tuned mass dampers to suppress machine tool chatter</p>	<p>no es el caso del esquema de rechazo de perturbaciones.</p> <p>Esta investigación lleva a cabo el diseño y ajuste de amortiguadores de masa sintonizados múltiples (TMD) para aumentar la resistencia al chatter de las estructuras de las máquinas herramienta, estudiando como variable principal la amortiguación y evaluando múltiples amortiguadores sobre la estabilidad del chatter sin aumentar la masa del amortiguador.</p>
<p>Prediction of multiple dominant chatter frequencies in milling processes</p>	<p>En este trabajo se ha determinado la frecuencia dominante entre las múltiples frecuencias de la vibración auto excitada en desarrollo, de acuerdo con rigurosas teorías matemáticas y a las variables analizadas el método se puede utilizar para determinar los componentes de la frecuencia dominante que ayudan en la identificación de las interacciones entre los diferentes modos y la velocidad del husillo.</p>
<p>Stability of milling processes with continuous spindle speed variation: Analysis in the frequency and time domains, and experimental correlation</p>	<p>En el presente artículo fue estudiada la estabilidad en los procesos de fresado, con variación en la velocidad del husillo, donde se analizan sus variables principales como lo son dominios de frecuencia y tiempo, y correlación experimental, demostrando así, que en procesos de fresado con CSSV se proporcionan buenos resultados.</p>
<p>Suppression of dynamic instabilities (chatter) in high-speed</p>	<p>En este proceso de investigación se desarrolla una técnica para restaurar la estabilidad dinámica de</p>

Documento	Análisis de aplicación
<p data-bbox="285 331 662 422">machining by modulating the speed of the cutting tool.</p>	<p data-bbox="724 331 1354 695">un proceso de mecanizado y se analizaron ciertas variables como: Velocidad de giro, profundidad de corte, fuerza de corte, fuerza variable, amortiguación. Finalmente, se analizaron las consecuencias de dicha técnica sobre la estabilidad del sistema, comprobándola como efectiva en procesos de mecanizado.</p>
<p data-bbox="293 720 654 810">Uncharted islands of chatter instability in milling</p>	<p data-bbox="724 720 1349 1024">Este artículo suministra evidencia de que pueden hallarse islas aisladas de chatter de vibración en los procesos de fresado, se investigaron varios escenarios y los resultados examinan las tendencias de estabilidad para diferentes inmersiones radiales y ángulos de hélice.</p>
<p data-bbox="277 1045 670 1188">Vibration absorbers for chatter suppression: A new analytical tuning methodology</p>	<p data-bbox="724 1045 1365 1350">En esta investigación se desarrolló una solución analítica para amortiguadores desde un aspecto de vibración regenerativa, y luego de analizar la amortiguación como variable principal surgen dos valores óptimos para cada caso y el promedio de estos proporciona un valor de amortiguación útil.</p>
<p data-bbox="285 1371 662 1461">A review of chatter vibration research in milling</p>	<p data-bbox="724 1371 1370 1728">En el presente artículo se hace una recopilación de los trabajos realizados sobre el fenómeno del chatter en sectores de importancia como la industria aeronáutica, hasta el 2019 denotando las variables incidentes de los artículos referidos en esta como velocidad de corte, rigidez, fricción y vibración.</p>

Documento	Análisis de aplicación
Analytical prediction of chatter stability for variable pitch and variable helix milling tools	Este artículo menciona la estabilidad de vibración en base a avances tecnológicos y productos de mejora de la semi discreción, para herramientas de fresado de hélice mencionado las variables necesarias para ello como velocidad, grosor, tiempo y fuerza.
Chatter detection in milling process based on VMD and energy entropy	La investigación mencionada en este artículo describe el análisis de chatter en la industria aeroespacial, realizando una descomposición en modo variacional de la cual se toman variables y se descomponen con el fin de hallar las más representativas para el proceso
Chatter identification in end milling process using wavelet packets and Hilbert–Huang transform	El presente artículo identifica variables mediante paquetes de ondículas y transformada de Hilbert-Huang técnicas que toman variables en su totalidad y se seccionan por importancia para sectorizar la identificación de chatter.
Chatter in machining processes: A review	En este artículo se realiza una revisión de los métodos de aseguramiento de corte en la industria automotriz teniendo en cuenta las variables con mayor influencia dentro de los procesos de fresado convencionales como la precisión dimensional frente a rigidez de la pieza en el proceso de corte
Chatter stability in robotic milling	En la presente investigación se hace un estudio de problemáticas en los procesos de fresado realizados por robots en la industria aeronáutica donde las variables se ven reflejadas en desajustes

Documento	Análisis de aplicación
Chatter stability of milling in frequency and discrete time domain	<p>del robot (Máquina-herramienta) dentro de un proceso de línea de ensamble.</p> <p>En este artículo se presentan leyes de estabilidad para la vibración en el dominio de tiempo discreto, donde moldeando la dinámica temporal periódica en el proceso y promediando los factores direccionales que varían en intervalos de tiempo basados en el paso del cortador se puede realizar una comparación de las soluciones de estabilidad numéricas y los experimentos, proporcionando detalles matemáticos complejos.</p>
Chatter suppression in micro end milling with process damping	<p>Para esta investigación se denota uno de los mayores desafíos en el micro mecanizado como lo es la vibración regenerativa, por lo que se utiliza una interfaz de volumen equivalente entre la herramienta y la pieza de trabajo para determinar el parámetro de amortiguación del proceso. donde las variables de incidencia como la vibración, ruido, entre otras, se magnifican por el tamaño de la herramienta.</p>
Chatter suppression techniques in metal cutting	<p>Este artículo presenta una revisión crítica de las diferentes técnicas de supresión de la chatter. dando soluciones enfocadas en el diseño y control de los procesos proporcionando una vista completa de los métodos disponibles para estabilizar el proceso de corte y las variables que afectan el proceso. Describiendo la evolución de cada técnica y mencionando las contribuciones</p>

Documento	Análisis de aplicación
<p>Contribution to the study of the surface roughness obtained by the high-speed milling process, in the finishing phase, of tempered steels from molds and dies</p>	<p>más importantes de las investigaciones sobre el fenómeno de chatter en los últimos años y sus respectivas aplicaciones industriales.</p> <p>En la presente tesis doctoral se hace un análisis de factores que influyen en un acabado superficial deficiente en el sector de moldes y matrices, obtenido mediante la tecnología de fresado en alta velocidad partiendo de la metodología del diseño de experimentos, usando modelos matemáticos que permiten relacionar los parámetros de corte con la rugosidad superficial obtenida en diferentes casos concretos</p>
<p>Deformation prediction and error compensation in multilayer milling processes for thin-walled parts</p>	<p>El presente estudio establece un modelo dinámico con el fin de predecir la deformación en el mecanizado multicapa de una pieza de pared delgada, la relación de las variables de acoplamiento como la fuerza de corte y la deformación de mecanizado se tiene en cuenta mediante cálculo iterativo, el modelo dinámico mencionado se valida con simulaciones de tipo experimental comparandos capa por capa.</p>
<p>Comparative study between Conventional and Unconventional Milling</p>	<p>En la presente investigación se presenta un estudio comparativo entre le fresado convencional y el no convencional con el fin de estudiar el comportamiento de los parámetros termo mecánicos, esto debido al avance de la tecnología en cuanto a maquinaria y herramientas, concluyendo con una discusión donde se</p>

Documento	Análisis de aplicación
	menciona que el mecanizado no convencional es mejor al convencional por la disminución del fenómeno chatter y los problemas que este conlleva.
Study of the dynamic behavior of different tool setting systems for CNC milling processes	En la presente investigación se realiza un estudio del comportamiento del sistema-máquina-herramienta-pieza de trabajo, los efectos en un proceso de fresado CNC y el desgaste de la maquinaria dentro de este proceso a alta velocidad, para lo cual se determinan métodos apropiados para cada paso como profundidad de corte y frecuencia en las investigaciones del campo académico enfocadas a la influencia dinámica del sistema.
Improving feasibility of robotic milling through robot placement optimization	En el presente artículo se genera una investigación y posterior discusión sobre la posición física de los robots que realizan procesos de fresado en diferentes sectores de la industria pese al avance de estos, la rigidez del robot afecta negativamente el proceso de fresado viéndose necesaria la utilización de algoritmos para abordar estos problemas. Para lo cual las variables, como las posiciones de las articulaciones y los momentos de torsión, son necesarias para los algoritmos genéticos, y se calculan utilizando modelos de cinemática inversa y dinámica inversa.
Machine vision-based condition monitoring and fault diagnosis of	En el presente artículo se menciona la importancia de tener una revisión exhaustiva de los

Documento	Análisis de aplicación
machine tools using information from machined surface texture: A review	procedimientos de fresado basados en monitoreo del estado gracias a la visión artificial donde las variables no han sido revisadas de manera exhaustiva por lo que se hace un recuento de los diferentes procedimientos de mecanizado.
Surface Integrity of Ultrasonically-Assisted Milled Ti6Al4V Alloy Manufactured by Selective Laser Melting	En este estudio se hace una comparación entre un método convencional de fresado con un el método de fresado vertical asistido por Ultrasonido, en donde se analiza la velocidad como variable primicial de seguimiento, encontrando que el acabado con el método asistido por ultrasonido generó mejores resultados, y reduciendo los efectos de vibración o chatter. Las variables analizadas en el acabado de la pieza son la rugosidad y textura.
On-line chatter detection in milling using fast kurtogram and frequency band power	En el presente artículo es explicado un método de detección de vibraciones utilizando herramientas para localizar el componente no estacionario en la señal de fuente única. El método es verificado mediante experimentos de molienda y fueron analizadas variables como frecuencia y velocidad que luego de ser ensayadas arrojaron resultados de detección satisfactorios.
Analysis of Tool Chatter in Terms of Chatter Index and Severity Using a New Adaptive Signal Processing Technique	En este documento es descrito un análisis de vibración de la herramienta donde se adoptaron técnicas de eliminación de ruido para procesar las señales de vibración en diferentes combinaciones de parámetros de corte. Todo esto, luego de

Documento	Análisis de aplicación
	<p>analizar diferentes variables como la densidad espectral de potencia que ayuda a identificar dichos parámetros.</p>
<p>An Updated Method for Stability Analysis of Milling Process with Multiple and Distributed Time Delays and Its Application</p>	<p>En este artículo, fue presentado un método para la predicción de estabilidad en el que se analizaron variables como rigidez, tiempo, velocidad y los resultados arrojados muestran que la aplicación del proceso puede lograr una mayor supresión de la vibración del fresado en la práctica.</p>
<p>Vibration-free surface finish in the milling of a thin-walled cavity part using a corn starch suspension</p>	<p>En el presente artículo, es presentado un método innovador de supresión de vibraciones que se basa en la propiedad de espesamiento de la suspensión de almidón de maíz. La influencia del almidón de maíz en la supresión de vibraciones se analiza en el dominio de la frecuencia y el análisis teórico junto a la experimentación, demuestra excelentes resultados en la fabricación de una pieza de cavidad de pared delgada.</p>
<p>High precision and efficiency robotic milling of complex parts: Challenges, approaches and trends</p>	<p>Este artículo se centra en las técnicas de planificación y control del proceso de mecanizado, además de los principios de estas tecnologías, como características de rigidez y mecanismos de deformación. Son comparados también los últimos avances y se discuten las tendencias de desarrollo.</p>
<p>Influencia de la estabilidad dinámica en el acabado superficial de moldes y matrices empleados</p>	<p>En esta investigación, es estudiada una estrategia de corte para el acabado de superficies inclinadas de acero, donde se analizó la rugosidad y el</p>

Documento	Análisis de aplicación
en la fabricación armamentos de infantería	incremento lateral. Los resultados de la investigación mostraron que la calidad superficial, depende principalmente de la estabilidad dinámica del proceso.
Can mode coupling chatter happen in milling?	En este estudio, se investigan las vibraciones de chatter de acoplamiento de modo en operaciones de fresado, donde se observó que la estabilidad de las pruebas dependía de la velocidad del husillo y la profundidad de corte. Sin embargo, los resultados no cumplen con las pruebas de estabilidad de fresado.
Aportes a la fabricación de micro cavidades mediante fresado para generar superficies con textura	En este documento, fueron comprobadas tres variables del proceso de fresado, tomando como principal, las variantes del fresado cilíndrico, pues permite la generación de texturas superficiales y los principales parámetros son la frecuencia y velocidad.
Ultrasonic vibration-assisted machining: principle, design and application	Este documento, provee una discusión e investigación acerca de aspectos claves del mecanizado UVA, como la cinemática y la dinámica de corte, el efecto de los materiales de la pieza de trabajo y el desgaste de las herramientas de corte, que involucran una amplia gama de materiales de la pieza de trabajo, incluidas las aleaciones metálicas y cerámicas.
A review of chatter vibration research in turning	Esta investigación compara las técnicas de predicción de estabilidad, la detección y el control del Chatter en el proceso de giro para identificar

Documento	Análisis de aplicación
	<p>las más adecuadas. Concluyen que la estimación del estado de vibración / desgaste de la herramienta se puede realizar analizando las fuerzas de corte y las señales de vibración obtenidas de varios sensores.</p>
<p>Research on chattering occurrence condition in a vibro-impact system</p>	<p>En la presente investigación se establece un modelo del sistema de vibro-impacto limitado no fijo sobre la base del amortiguador de impacto. La persistencia de vibraciones en el rango de baja frecuencia se estudia mediante simulación numérica. Los resultados muestran que la relación de frecuencia y el aclaramiento afectan el comportamiento de la vibración del sistema.</p>
<p>Chatter in machining processes: A review</p>	<p>Este artículo revisa el estado de la investigación sobre el problema del Chatter y clasifica los métodos existentes que aseguran un corte estable. Tales como: las estrategias fuera de procesos que predicen, estiman o identifican el SLD, las estrategias en proceso que identifican el Chatter, mediante el uso de sensores, monitores de procesos y tratamientos de señales.</p>
<p>Recent progress of chatter prediction, detection and suppression in milling</p>	<p>En este artículo, se lleva a cabo una investigación sobre la predicción fuera de línea, la detección en línea y la supresión del Chatter. En respuesta a estos problemas. Se presentan cuatro orientaciones: Integración de unidades de predicción, detección y supresión de vibraciones, transmisión inalámbrica de alta velocidad con alta</p>

Documento	Análisis de aplicación
<p>Probabilistic analysis of chatter stability in turning</p>	<p>frecuencia del muestreo, métodos avanzados de procesamiento de datos y toma de decisiones y un sistema de monitoreo de vibración integrado.</p> <p>En este estudio se investiga el análisis probabilístico de la estabilidad de la vibración regenerativa en el giro. Teniendo presente las influencias de factores aleatorios, la característica de probabilidad de estabilidad de vibración regenerativa y el método avanzado de segundo momento de primer orden (FOSM). Obteniendo así, un modelo dinámico de vibración regenerativa en el torneado y la relación entre el límite de corte y la velocidad de rotación del husillo.</p>
<p>A review of chatter vibration research in milling</p>	<p>El presente artículo evidencia los problemas presentes en la predicción estable, la identificación y el control del chatter, dado en los procesos de molienda. Se presta atención a la relación entre la vibración de corte y la amortiguación del proceso.</p>
<p>An innovative approach towards defect detection and localization in gas pipelines using integrated in-line inspection methods</p>	<p>En este estudio se presenta un método de inspección en línea novedoso y de alta sensibilidad mediante el cual, se desarrolla y diseña un sistema de control de velocidad que se ejecuta en una red de gasoductos, para eliminar errores causados por picos de velocidad y mantenerla en el rango deseado.</p>
<p>Effect of Friction on Tandem Cold Rolling Mills Chattering</p>	<p>El presente artículo determina que el fenómeno de la vibración en los trenes de laminación son las</p>

Documento	Análisis de aplicación
	<p>vibraciones no deseadas que reducen la productividad y calidad de los productos.</p> <p>Mediante un estudio paramétrico de los efectos de los coeficientes de fricción del laminador sobre la velocidad crítica de vibración, se encontró que es necesario un ajuste óptimo de los coeficientes para mejorar la eficiencia del proceso.</p>
<p>Online monitoring of tool chatter in turning based on ensemble empirical mode decomposition and Teager Filter</p>	<p>En esta investigación se determina que el monitoreo en línea de las señales de vibración de la herramienta de corte, ayuda a predecir la gravedad de la vibración. Para ello se identificó; un sensor adecuado que registre la señal, la naturaleza de las señales registradas, la técnica pertinente para filtrar la contaminación y por último aplicar dicha técnica para identificar la frecuencia de vibración y la zona de corte segura.</p>

Fuente, (Autores, 2021)

Teniendo conociendo parcial de la información contenida en los documentos se hace necesario conocer las variables de incidencia dentro de los procesos chatter y su posterior caracterización para un entendimiento total de las situaciones en las que estas variables intervienen y en que partes del proceso de mecanizado tienen un impacto mayor dependiendo del proceso en el que están involucradas.

Tabla 3 *Variables de incidencia en el proceso de fresado.*

Variables	Definición de las variables
Velocidad de avance	Termino usado en la fabricación de piezas de tecnología, que hace referencia la velocidad relativa instantánea con una herramienta en contacto con un material a ser eliminado.
Velocidad Angular instantánea	Cuando un movimiento tiene lugar en una trayectoria curva, se define la velocidad angular instantánea.
Velocidad de rotación	Puede ser considerada como un recuento de impulsos en función del tiempo.
Velocidad de vibración	Es la velocidad con que vibra cada punto de la onda.
Velocidad de corte	Es definida como la velocidad lineal de la periferia de la pieza que está en contacto con la herramienta.
Velocidad de giro	La velocidad de giro del husillo es un valor programable que expresa el número de revoluciones por unidad de tiempo de la herramienta.
Fuerza de Corte	Es la fuerza requerida por la herramienta para el maquinado de la pieza.
Fuerza de fresado	Necesaria para que la herramienta (fresa) maquine la pieza.

Variables	Definición de las variables
Fuerza tangencial	Fuerza ejercida en un paralelo, perpendicularmente a las fuerzas meridianas; de compresión en la parte superior y de tracción en la inferior.
Fuerza Variable	La fuerza variable es aquella que cambia de acuerdo con la posición, tiempo o ambas.
Frecuencia angular	Medida de velocidad de rotación, referida al desplazamiento angular de la herramienta sobre la pieza en forma de onda sinusoidal.
Frecuencia de vibración	Número de veces que se completa un ciclo de oscilación el cual es medido en hercios.
Frecuencia de acoplamiento	Dentro de los procesos de fresado se considera la cantidad de veces en las que la maquina no sufre desajustes por velocidad de corte por ello se ve principalmente en velocidades bajas de corte.
Frecuencia rotacional	Describe el ángulo recorrido durante un giro de la unidad de tiempo la cual es una medida del arco trasado por la herramienta.
Geometría de la herramienta y pieza	Es un valor dado por α el cual se allá considerando la normal y la tangente a la pieza, el cual se ubica entre la superficie de incidencia principal y la tangente.

Variables	Definición de las variables
Rigidez	Capacidad de resistencia de un cuerpo a doblarse o torcerse por la acción de fuerzas exteriores que actúan sobre su superficie.
Amortiguación	Acción y efecto de amortiguar, es decir, de disminuir la fuerza o intensidad.
Flexibilidad	Capacidad de un cuerpo a doblarse fácilmente sin que exista peligro de que se rompa.
Relación maquina-herramienta-pieza de trabajo	Es descrito como el proceso en el cual las partes de este están en movimiento al mismo tiempo y se interrelacionan de manera uniforme teniendo cada movimiento una función para la realización del proceso.
Grados de libertad	Se describe como el número mínimo de parámetros que requerimos detallar para establecer totalmente la velocidad de un mecanismo o el número de reacciones de una estructura.
Masa modal	Es una propiedad dinámica relacionada con la distribución de la masa y las formas de la vibración.
Masa	La masa la magnitud escalar que expresa la cantidad de materia que se encuentra en un cuerpo.

Variables	Definición de las variables
Fricción	Existe entre dos superficies que tengas algún tipo de contacto entre sí, generada también por las imperfecciones microscópicas de los materiales rozantes.
Vibración	Una vibración se puede considerar como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio.
Rugosidad	Se define como las pequeñas desviaciones verticales en una superficie nominal que se determinan por las características específicas del material.
Dinámica estructural de la maquina	Encargada de la caracterización de las propiedades estructurales y el comportamiento de estas frente a factores de afectación físicos.
Densidad espectral de potencia	Es una función matemática que da a conocer la distribución de la potencia de dicha señal sobre las distintas frecuencias en donde está formada.
Distancia angular	Es una medida de la distancia que se encuentra entre dos puntos a partir de la posición del observador.
Variable de LaPlace	Es una transformada integral que convierte una función de variable real t a una función de variable complejas.

Fuente, (Autores, 2021)

Fase 3. Marco de aplicación

Con base en la información inicial recolectada se realizó un revisión y análisis de las aplicaciones y de los sectores industriales en los que el efecto chatter se convierte en un aspecto crítico para el acabo de las piezas y la eficiencia de los dispositivos que se construyen para diferentes usos del ser humano.

A continuación, se presentan los resultados de la revisión de información segmentados en tres partes, el análisis de la información relevante sobre el efecto chatter, las variables que inciden en el estudio y comprensión y los sectores industriales en los que el efecto chatter genera criticidad.

Análisis del efecto Chatter

Un acabado superficial deficiente o defectos al interior de la pieza, genera un deterioro en las propiedades mecánicas y en el rendimiento de las piezas (Sai, Wei, Qinghong, Zhigang, & Bi, 2021). La detección del efecto Chatter se realiza a través del diagrama de lóbulos de estabilidad (SLD) en el cual se pueden detectar las desviaciones de la herramienta y en el acabado de la pieza, (Gang, y otros, 2021). Existen tres categorías de métodos para la detección del efecto chatter, monitoreo en tiempo real de tiempo y frecuencia, métodos predictivos basados en modelos físicos de efectos chatter y la identificación de variables en línea a través de la medición de todas las variables del proceso de mecanizado. (Liu C. , y otros, 2021)

Las vibraciones mecánicas que presentan en los procesos de fresado se dividen en 3, las cuales son vibración libre, vibración forzada y vibración autoexcitada (chatter). Denominado esta última como la más difícil de mitigar. Por lo anterior (Caixu, Haining, Xianli, Steven Y, & Lihui, 2019) plantea una revisión documental de la cantidad y calidad de diferentes artículos, logrando una base teórica amplia de la vibración de corte y la amortiguación del proceso, la herramienta runout y efectos giroscópicos. Generando aportes teóricos a la industria al mostrar una recolección de las técnicas experimentales para la detección de vibraciones, su procedimiento, ventajas y desventajas de este tipo de métodos. Posteriormente las tecnologías de supresión de chatter y factores en los SLD dentro de los documentos publicados previos a 2019.

Según (Hongrui, Yaguo, & Zhengjia, 2013) la mejor solución hasta el momento para el efecto chatter se encuentra en la transformada de paquete de ondas (WPT) junto con la transformada de Hilbert-Huang (HHT), en el cual se descomponen las señales de manera adaptativa en función del tiempo y posteriormente se descomponen en componentes ortogonales usando la transformación de Hilbert siendo una solución uniforme en todo el rango de la frecuencia, pese que hasta el momento solo se utiliza para la detección de fisuras de las herramientas de corte. El HHT consta esencialmente de dos pasos la descomposición del modo empírico que busca extraer variables necesarias como la amplitud instantánea, la fase instantánea, la frecuencia instantánea el tiempo después se aplica la transformada de Hilbert para encontrar los índices adecuados para la identificación de vibración.

Para (Munoa J. , y otros, 2016) es importante establecer pasos para detectar de manera practica de evaluar la mejor solución para el chatter dentro de un proceso de fresado comenzando con medir la variables de influencia dentro del proceso como; la frecuencia de vibración y rigidez, para lograr una tabla con los productos diseñados con el fin de reducir el chatter dentro de cada zona del proceso; la zona A de la amortiguación del proceso , la zona B de las herramientas de hélice variable , la zona C SLD y encontrar puntos óptimos y la zona D la mejora del husillo dependiendo de la velocidad. Mejorando la comprensión de las técnicas actuales de reducción de las vibraciones indeseadas y la amplia gama que existe de métodos de supresión de chatter en la industria.

(Ossa, 2016) Los procesos de mecanizado en Colombia no son competitivos en comparación con países industrializados, debido en su mayoría a la rigidez del sistema máquina-herramienta-pieza de trabajo y al costo elevado en tecnologías aplicables a la mejora de los procesos considerándose poco factibles por lo que las estrategias de manufactura eficiente se vuelven soluciones más reales en cuanto a capacidad monetaria, donde se busca evaluar la precisión de la maquina basándose en vibraciones , tipo de herramientas utilizadas, velocidad del husillo como de avance y material de la pieza.

Según (Liu, y otros, 2022) se menciona la falta de seguimiento de los diferentes procedimientos de diagnóstico de chatter, por lo que se genera un vacío en el que se hace necesario la sistematización del monitorea miento del estado basado en visión artificial y el diagnóstico de fallas de las máquinas herramienta mediante la información brindada por la rugosidad de la superficie de la pieza revisando en primera medida los recolectores

de datos para posteriormente ilustrar las metodologías halladas describiendo las variables dentro de estas para por ultimo evaluar la rugosidad de la pieza.

Las aleaciones Ti6Al4V la cual es creada por láser enfrenta problemáticas generadas por el efecto chatter por ello, (Sai, Wei, Qinghong, Zhigang, & Bi, 2021) proponen la técnica de asistencia por ultrasonido la cual mejora la calidad del mecanizado contando con ventajas frente a otros sistemas de monitoreo en cuanto a la vida útil de la herramienta, donde la velocidad tiene un papel fundamental en los desperfectos generados en la pieza debido también a el uso de mecanizado convencional y estilos de corte intermitentes. Por lo que las soluciones presentadas en el documento muestran mejoras sustanciales en la supresión de chatter y la mejora de acabado superficial gracias en parte a las propiedades del material.

Para (Zhu & Liu, 2020) el avance en los procesos de mecanizado y más específicamente procesos de fresado tienen que ir de la mano con los avances del desarrollo de la fabricación inteligente, por lo que se genera una necesidad notoria de realizar una revisión de chatter en su forma regenerativa como de acoplamiento de modos, logrando una revisión de las tecnologías actuales para hacer frente a los problemas generados por el chatter e integrar de manera uniforme la detección y supresión de vibraciones en maquinaria de alta velocidad inteligente o husillo inteligente.

(Liu C. , y otros, 2021) Utiliza una herramienta nueva para localizar componentes de tipo no estacionarios, llamada kurtograma rápido, utilizando esta herramienta y la potencia de la banda de frecuencia para tener un seguimiento mas completo de la

vibración, los cuales se centran principalmente en suprimir problemáticas comunes generadas por el chatter como ruido y el decrecimiento de d del producto.

Variables

La velocidad de avance y la disminución de las vibraciones en el proceso de mecanizado generan una menor fuerza en el proceso y una menor fricción entre la herramienta y la pieza obteniendo unos mejores resultados. (Sai, Wei, Qinghong, Zhigang, & Bi, 2021). Para (Martinez Pinilla, 2019) las variables más importantes en el fresado convencional son la frecuencia rotacional y la velocidad de avance; Teniendo en cuenta lo mencionado por (Altintas, Stepan, Merdola, & Dombovari, 2008) se definen variables importantes dentro del tiempo discreto ya que este tiene una dinámica de corte inestable, lo que genera variables físicas como la geometría de la herramienta y pieza, la dinámica estructural de la maquina y la relación maquia-herramienta-pieza de trabajo. Al utilizar ecuaciones para la diferenciación de variables se mejora la comprensión el chatter dentro del proceso midiendo el retardo del tiempo, la inmersión radial y el número de dientes dentro del proceso y el número de intervalos discretos. Mostrado en conclusión que el chatter es una variable dependiente de la velocidad y el coeficiente de fuerza de corte.

Según (Rahnama, Sajjadi, & S.Park, 2009) la necesidad de materiales 3D más complejos y de un tamaño menor genera la necesidad de mejorar los proceso de micro fresado y los materiales de los mismos ya que el chatter en estos casos en más crítico por la tolerancia de la máquina, a pesar de lo anterior las variables de incidencia más importantes dentro de los procesos de mecanizado son similares y se abordad de maneras

más puntuales ya que el grosor de la viruta, la velocidad del husillo, la amortiguación del proceso, fricción de las caras del flanco y fuerza de corte afectan la dinámica de la punta de la herramienta y la vida útil de esta.

Análisis de incidencia del efecto Chatter en sectores industriales

Los procesos de fresado son diferentes para cada sector de la industria ya que dependen de las necesidades de estos lo que divide los procesos en fresado convencional y no convencional donde en ambos casos las dimensiones de la viruta tienen mucha relevancia en un proceso y aportan variables para el FEM como velocidad de corte, profundidad de corte, espesor de corte, geometría de la herramienta, radio de corte, coeficiente de fricción y energía de fricción entre otras. (Medina & Martin, 2018)

Industria Aeroespacial.

Una de las industrias con mayor mención en los artículos revisados es la Industria Aeroespacial, debido a la incidencia que tiene el efecto chatter, (Changfu, Lida, & Chenbing, 2018), la precisión de las piezas forma parte integral del proceso en este sector, por ello para mejorar la eliminación de material y reducir la fuerza de corte se propone un enfoque novedoso para detención de chatter con VDM analizando variables como la frecuencia angular, frecuencia de acoplamiento, frecuencia de vibración para mostrar cuanto afecta la velocidad del proceso la estabilidad del proceso, pese a lo anterior mencionado y teniendo en cuenta los procesos de simulación generados para probar la hipótesis la detección de la vibración se ve disminuida con el aumento de la velocidad de la fresa dando una solución a medias de la problemática.

Según (Chen, Xue, Tang, Chen, & Qu, 2009) la mayor aplicación de los procesos de fresado y por ende la necesidad de supresión del chatter se encuentra en la industria aeroespacial por la cantidad de piezas delgadas necesarias en esta industria, ya que lograr un perfil correcto depende de la utilización de la fresa, sin embargo los actuales métodos no tienen en cuenta este sector y las variables afectadas de las piezas de paredes delgadas por su baja rigidez para lo cual lo mejor es apoyar las falencias de la pieza con tecnología de compensación de iniciativa multicapa, apoyándose en la medición de variables como la deformación de la pieza, fuerza de corte y velocidad angular.

De la misma manera, (Sims, Mann, & Huyanan, 2008) mencionan la importancia de la reducción de chatter en la industria aeroespacial mejorando las capacidades físicas de las piezas en cuestión, ya que en esta industria es de suma importancia tener productos de una calidad muy alta por lo que la reducción de chatter es una prioridad, mencionando que en la actualidad los métodos de supresión de chatter son difíciles de aplicar con eficiencia, por lo que se seleccionan y monitorean las características más relevantes dentro del proceso como la fuerza de vibración, la señal de aceleración, la corriente del motor, el sonido, señal de par y señal de vibración. El modelo VMD se da como una solución a la descomposición de las señales dentro del proceso, en sub señales que son mucho más precisas en cuestión de valores reales y solucionando los problemas variacionales, Posteriormente se analizan las señales mediante la transformada rápida de Fourier (FFT) para dar mejor comprensión de la entropía de la energía del proceso.

La tecnología de fresado robótico tiene una gran aplicación en diversos sectores gracias a su alta precisión, (Zhu, y otros, 2020), específicamente en el sector aeronáutico y

aeroespacial se tiene una gran demanda de piezas con especificaciones únicas y con un acabado de alta calidad debido al uso de estos en el cumplimiento de sus actividades, como por ejemplo los paneles compuestos ligeros usados principalmente en placas inferiores, protección compuesta hallada en las puertas de embarque, moldeo por inyección de polvo (puertas del tren de aterrizaje), entre otros.

Robótica

Otro sector que presenta alta criticidad en el análisis del efecto chatter, es el de creación de piezas o componentes para el ensamble de robots, (Cordes, Hintze, & Altintas, 2019) Plantean una combinación de soluciones y sectores donde los procesos de fresado tienen relevancia en la industrialización y producción en masa de piezas tanto del sector aeroespacial y la robótica, ya que se plantea que los robots industriales se utilicen en el fresado de piezas aeroespaciales ligeras teniendo un uso específico ya que podrán ser aplicados en todas las aplicaciones de mecanizado mejorando su proceso con ya que estos poseen fuertes términos de acoplamiento, para probar esto se realizan pruebas buscando medir las variables más significativas en los procesos convencionales como el tiempo, velocidad del husillo, profundidad de corte y la frecuencia en piezas de aluminio y titanio.

Dentro del campo de la robótica el fresado ha sido parte de sus discusiones hace 28 años puesto que los robots diseñados para este tipo de tareas no eran factibles debido a su posicionamiento en el proceso vinculando ciertos criterios como una aproximación del mínimo de la relación de velocidad del manipulador a lo largo de la trayectoria del efector final como función de un algoritmo genético combinándolo con un método de

manejo de restricciones, los cuales aportan una mejora integral a problemáticas específicas como el chatter y cargas de torsión sobre el robot. (Vosniakos & Matsas, 2010)

Dentro del proceso de fresado robótico se generan limitantes debido a la vibración que conlleva a problemáticas como mala calidad del producto y la baja productividad por ello (Yuan, Pan, Ding, Sun, & Li, 2018) proporcionan una revisión de las problemáticas relacionadas con el chatter en las tareas de mecanizado robótico, teniendo en cuenta la importancia de los mecanismos, técnicas de mitigación, técnicas de identificación de vibraciones regenerativas y acoplamiento de modos. Comparando las diferencias del análisis en dos mecanismos en los procesos de fresado robótico y pautas para distinguir entre estos.

En sistemas automáticos donde el robot tiene la mayor participación el efecto chatter es un problema desafiante al ser generado por características propias del proceso como la vibración y velocidad por ello (Pan & Zhang, 2017) proporcionan tanto un análisis teórico que permita una comprensión física del efecto chatter y un mecanismo de subrayado, para lo cual es necesario conocer el modelo del robot y el modelo de fuerza de corte, evidenciado que en gran parte las vibraciones regenerativas y de acoplamiento de modo se deben a la rigidez del robot común en robots industriales.

La industria de la robótica a su vez está relacionada de manera directa con la aeroespacial por la generación de piezas interrelacionadas o procesos combinados de estas dos, teniendo en cuenta lo anterior las tapas de los brazos robóticos y piezas de la mano del brazo robótico las cuales desempeñan labores de mantenimiento en gravedad 0 requieren durabilidad máxima y mínimos controles en la ejecución de sus labores.

Automotriz

Otro de los sectores que tienen gran atención y criticidad en el análisis del efecto Chatter es el automotriz. (Quintana & Ciurana, 2011) muestran el avance de la tecnología en cuanto al mecanizado de piezas del sector automotriz tomando como ejemplo Ford, y mencionada que a pesar de la cantidad de trabajos que tiene como fin la solución de chatter aún no se encuentra una solución óptima al proceso de mecanizado debido a que variables como velocidad, frecuencia, vibración, fuerza de corte e inestabilidad por velocidad son parte esencial del proceso y generan la vibración autoexcitada que desmejora el proceso, posteriormente mencionan el avance de la tecnología y posible invención de máquinas capaces de realizar un autodiagnóstico y así mismo adaptar los parámetros de corte del momento asegurando la calidad de las piezas.

(Ortiz, 2018) La exigencia en precisión de piezas diseñadas en procesos de fresado es más exigente con el tiempo y para la industria de automoción interviene en la fabricación de moldes y matrices por lo que un modelo predictivo mide variables de continua incidencia como la velocidad de corte, rugosidad de la pieza, profundidad de corte y vibración promedio por revolución. Estos moldes y matrices son necesarios para la creación de motores y transmisiones, donde la precisión se ve reflejada en la durabilidad previa de algún mantenimiento por la propia vibración del automóvil además de que en esta industria los procesos de fresado se ven relacionados a la generación del chasis y algunas piezas externas del armazón.

Armamento

La industria de fabricación de armamento también requiere de alta precisión en el acabado de piezas, (Mariño Cala, Diniz, & Sanchez, 2015) mencionan que aplicación del fresado en piezas necesarias en la industria militar en lo que se usan moldes y matrices elaborados bajo procesos de absoluta precisión y basados en modelos de lean manufacturing, para que el acero herramental AISI D6 el cual es usado para la creación de la tapa y caja de algunos fusiles como HK 416, FN SCAR, entre otros, sea duradero. Además de lo anterior mencionado la aplicación del fresado se usa para la creación de rieles los cuales se utilizan para el montaje de diversos tipos de miras, visores y accesorios por lo que se requiere gran precisión en su fabricación con el fin de lograr una gran exactitud dimensional.

Conclusiones

Se realizó una recolección y clasificación de artículos cuyo contenido estuviera referido al sector de mecanizado, específicamente a documentos que tuvieran un enfoque hacia las problemáticas causadas por el efecto chatter, las cuales en su mayoría presentaban soluciones experimentales acordes a las tecnologías aportadas en el tiempo de desarrollo de la investigación, para esto se usó una división de la información con el fin de sistematizarla usando factores de importancia para su clasificación como autor, revista, año, país, índice H y cuartil.

Con la recolección y clasificación de la información obtenida se concluye cuáles son las principales variables de incidencia del efecto chatter dentro de los diferentes procesos de fresado en el sector del mecanizado, denotando cuáles de las variables se ven involucradas específicamente en las aplicaciones industriales, además de lo anterior se da un vistazo a los sectores en los que el chatter genera problemáticas drásticas en los procesos de fresado y cómo este afecta tanto la pieza como la herramienta de trabajo en procesos de mecanizado a alta velocidad.

Al realizar un marco de aplicación de un dispositivo de monitoreo de chatter en fresado CNC se encontraron cuáles son los sectores donde a pesar de las soluciones parciales dadas en los diferentes artículos se menciona la necesidad de una solución más directa frente al efecto chatter, debido a que los sectores donde se hace necesario son sectores en los cuales la precisión en los procesos es vital para la pieza final y en el cual la reducción de esto mejoraría de manera notoria la calidad y durabilidad del

producto, como el sector automotriz, el sector aeroespacial, El sector aeronáutico y la industria armamentista.

Recomendaciones

Se recomienda realizar una revisión de la tecnología actual, en cuanto al monitoreo de los procesos de fresado CNC, con el fin de mejorar las capacidades de un dispositivo de monitoreo de fresado frente a las tecnologías emergentes.

Se sugiere la aplicación de un estudio de tipo técnico con el fin de contemplar aspectos operativos necesarios para dar el mejor uso posible a los recursos vinculados a la materialización de un dispositivo de monitoreo de fresado CNC.

Se plantea en el marco del desarrollo de un dispositivo de monitoreo de fresado CNC un análisis exhaustivo de los diferentes dispositivos de reducción de chatter los cuales tengan finalidades similares con el fin de dar un aporte real a las industrias en cuanto a la reducción del fenómeno chatter.

Referencias

- A.Al-Habaibeh, & N.Gindy, N. (22 de noviembre de 2000). A new approach for systematic design of condition monitoring systems for milling processes. *journal of materials processing technology*, 243-251. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013600007184>
- Altintas, Y., Stepan, G., Merdola, D., & Dombovari, Z. (2008). Chatter stability of milling in frequency and discrete time domain. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2008.06.003>
- American Psychological Association. (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association* (6 ed.). (M. G. Frías, Trad.) México, México: El Manual Moderno.
- B.R.Patel, B.P.Mann, & K.A. young, K. (enero de 2008). Uncharted islands of chatter instability in milling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 124-134. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695507001320>
- Bitfab. (2021). *Bitfab*. Obtenido de <https://bitfab.io/es/blog/fresadoras/>
- C. Roberto Hernandez Sampieri, C. (1997). *metodologia de la investigacion*. HILL INTERAMERICANA DE MÉXICO, S.A. Obtenido de https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf
- C.Hongrui, L.Yanguo, & H.Zhengjia, H. (junio de 2013). Chatter identification in end milling process using wavelet packets and Hilbert–Huang transform.

- International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 11-19. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089069551300031X>
- Caixu, Y., Haining, G., Xianli, L., Steven Y, L., & Lihui, W. (2019). A review of chatter vibration research in milling. *Chinese Journal of Aeronautics*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.cja.2018.11.007>
- Changfu, L., Lida, Z., & Chenbing, N. (2018). Chatter detection in milling process based on VMD and energy entropy. *Mechanical Systems and Signal Processing*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.11.046>
- Chen, W., Xue, J., Tang, D., Chen, H., & Qu, S. (2009). Deformation prediction and error compensation in multilayer milling processes for thin-walled parts. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2009.05.006>
- Cordes, M., Hintze, W., & Altintas, Y. (2019). Chatter stability in robotic milling. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.07.004>
- Deqing, M., K Tianrong, S Albert, & C Zichen. (19 de Febrero de 2009). Magnetorheological fluid-controlled boring bar for chatter suppression. *Journal of Materials Processing Technology*, 1861 - 1870. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013608003634>
- Escuela colombiana de Ingeniería. (2007). Fresado y taladrado protocolo.
- Ferros Planes . (2019). *Planes* . Obtenido de <https://ferrosplanes.com/que-es-mecanizado/>
- Frederick , T. (1907). *On the Art of Cutting Metals*.

- Gang, J., Wenshuo, L., Jianxin, H., Zhanjie, L., Gaofeng, H., & Guangxing. (2021). An Updated Method for Stability Analysis of Milling Process with Multiple and Distributed Time Delays and Its Application. *Applied Sciences (Switzerland) MPDI*, 12. doi:<https://www.mdpi.com/2076-3417/11/9/4203/htm>
- Hongrui, C., Yaguo, L., & Zhengjia, H. (2013). Chatter identification in end milling process using wavelet packets and Hilbert–Huang transform. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2013.02.007>
- I.Mancisidor, J.Munoa, & R.Barcelona, R. (2015). Coupled model for simulating active inertial actuators in milling processes. *The international journal of advanced Manufacturing Technology*, 581-595. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6469-0>
- I.Minis, R.Yanueshevsky, & A.Tembo, A. (1990). Analysis of Linear and Nonlinear Chatter in Milling. *CIRP Annals*, 459-462. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850607610968>
- Infaimon. (17 de 05 de 2018). *Procesos industriales, conceptos generales obligatorios*. Obtenido de <https://blog.infaimon.com/procesos-industriales-conceptos-generales-obligatorios/>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (s.f.). *¿En qué unidades se miden las vibraciones?* Obtenido de <https://www.insst.es/-/en-que-unidades-se-miden-las-vibraciones->

- J.Monnin, F.Kuster, ç., & K.Wegener, K. (2014). Optimal control for chatter mitigation in milling—Part 1: Modeling and control design. *ScienceDirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967066113002141>
- J.Munoa, X.Beudaert, Z.Dombovari, & Y.altintas, Y. (2016). Chatter suppression techniques in metal cutting. *sciencedirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850616301962>
- Jeremie, M., Fredy, K., & W Konrad, W. (2014). Optimal control for chatter mitigation in milling—Part 1: Modeling and control design. *ScienceDirect*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2013.11.010>
- Jose Luis, J. (2014). *Metodologia de la investigacion*. International Journal of Good Conscience. Obtenido de [http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9\(3\)195-204.pdf](http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9(3)195-204.pdf)
- L.Changfu, Z.Lida, & N.Chenbing, N. (15 de mayo de 2018). Chatter detection in milling process based on VMD and energy entropy. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 169-182. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0888327017306349>
- L.Huaizhing, & L.Xiaoping, L. (2000). Modelling and simulation of chatter in milling using a predictive force model. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2047-2071. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0890695500000420>
- Laboratorio virtual riesgos laborales. (13 de 11 de 2018). *Introducción a las vibraciones. Clasificación*. Obtenido de

- <http://www.uco.es/RiesgosLaborales/fisicoyquimico/vibraciones/tutorials/view/4-Introduccion-a-las-vibraciones-Clasificacion>
- Liu, C., Gao, X., Chi, D., Y., H., Liang, M., & Wang, H. (2021). On-line chatter detection in milling using fast kurtogram and frequency band power. *European Journal of Mechanics, A/Solids*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2021.104341>
- Liu, C., Gao, X., Chia, D., Hea, Y., Liang, M., & Wang, H. (2021). On-line chatter detection in milling using fast kurtogram and frequency band power. *European Journal of Mechanics - A/Solids*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2021.104341>
- Liu, Y., Guo, L., Gao, H., Zhichao, Y., Ye, Y., & Zhang. (2022). Machine vision based condition monitoring and fault diagnosis of machine tools using information from machined surface texture: A review. *Mechanical Systems and Signal Processing*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2021.108068>
- M.Cordes, H.Wolfgang, & A.Yusuf, A. (febrero de 2019). Chatter stability in robotic milling. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 11-18. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S073658451830084X>
- M.Lamraouiab, M.Thomasa, M.Badaouib, & F.Girardinc, F. (20 de febrero de 2014). Indicators for monitoring chatter in milling based on instantaneous angular speeds. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 72-85. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0888327013002008>

- M.Zatarain, I.Bediaga, J.Muñoa, & R.Lizarralde, R. (2008). Stability of milling processes with continuous spindle speed variation: Analysis in the frequency and time domains, and experimental correlation. *CIRP Annals*, 379-384. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850608000450>
- Mancisidor.I, Munoa.J, Barcena.R, & Beudaert.X, Z. .. (21 de octubre de 2014). Coupled Model for Simulating Active Inertial Actuators in Milling Processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-014-6469-0>
- Mariño Cala, M., Diniz, A., & Sanchez, y. (10 de 2015). *Influencia de la estabilidad dinámica en el acabado superficial de moldes y matrices empleados en la fabricación armamentos de infantería*. Obtenido de Segunda Jornada Internacional de las Ingenierías Eléctricas, Mecánicas y Ramas Afines JIMEI 2015/: https://www.researchgate.net/profile/Yanier-Sanchez/publication/284188647_Influencia_de_la_estabilidad_dinamica_en_el_acabado_superficial_de_moldes_y_matrices_empleados_en_la_fabricacion_armamentos_de_infanteria/links/56a6398708aeca0fddcb4a03/Influencia-d
- Martinez Pinilla, J. (06 de 2019). *Aportes a la fabricación de micro cavidades mediante fresado para generar superficies con textura*. Obtenido de Repositorio unal.edu.co: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76645/1020730028.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Medina, V., & Martin, A. (2018). Estudio comparativo entre el Fresado Convencional y no Convencional. *repositorio universidad de trujillo*.
doi:<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/11154/Ar%C3%ADstides%20Martin%20V%C3%A1squez%20Medina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Munoa, J., Beudaert, X., Dombovari, Z., Altintas, Y., & Budak, E. (2016). *Chatter suppression techniques in metal cutting*.
- Munoa, J., Beudaert, X., Dombovari, Z., Altintas, Y., Budak, E., Brecher, C., & Stepan, G. (2016). Chatter suppression techniques in metal cutting. *CIRP Annals*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.004>
- N.D.Sims, B.Mann, & S.Huyanan. (11 de noviembre de 2008). Analytical prediction of chatter stability for variable pitch and variable helix milling tools. *Journal of sound and vibration*, 664 - 686. Obtenido de
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022460X08002800>
- NC Service. (25 de 05 de 2021). *NC Service*. Obtenido de
<https://www.ncservice.com/es/sabes-que-es-un-husillo-y-cual-es-el-mas-empleado-en-las-fresadoras-cnc>
- Neil D.Sims, N. (3 de abril de 2007). Vibration absorbers for chatter suppression: A new analytical tuning methodology. *Journal of sound and vibration*, 592-607.
Obtenido de
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022460X06007930>
- Ortiz, j. (2018). Contribución al estudio de la rugosidad superficial obtenida mediante el proceso de fresado en alta velocidad, en la fase de acabado, de aceros templados

- de moldes y matrices. *repositorio xarxa*.
doi:<https://www.tesisenred.net/handle/10803/664085#page=1>
- Ossa, D. (2016). Estudio Del Comportamiento Dinámico De Diferentes Sistemas De Sujeción De Herramientas Para Procesos De Fresado Cnc. *Repositorio santo Tomas*. doi:<https://hdl.handle.net/11634/2714>
- Pan, Z., & Zhang, H. (2017). Analysis and suppression of chatter in robotic machining process. *International Conference on Control, Automation and Systems*.
doi:<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4407093>
- Quintana, & Ciurana. (mayo de 2011). Chatter in machining processes: A review. *International journal of machine tools and manufacture*, 363 - 376. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695511000022>
- Quintana, G., & Ciurana, J. (2011). Chatter in machining processes: A review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2011.01.001>
- R.Rahnama, M.Sajjadi, & S.Park, S. (19 de agosto de 2009). Chatter suppression in micro end milling with process damping. *Journal of Materials Processing Technology*, 5766-5776. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013609002350>
- RAE. (2014).
- Rahnama, R., Sajjadi, M., & S.Park, S. (2009). Chatter suppression in micro end milling with process damping. *Journal of Materials Processing Technology*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2009.06.009>

- Reliabilityweb.com. (15 de 10 de 2018). *El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional*. Obtenido de <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>
- Robertson, T. (22 de 03 de 2017). *¿Qué es la amortiguación en la fabricación?* Obtenido de <https://pyme.lavoztx.com/qu-es-la-amortiguacin-en-la-fabricacin-13217.html>
- Sai, G., Wei, D., Qinghong, J., Zhigang, D., & Bi, Z. (2021). Surface Integrity of Ultrasonically-Assisted Milled Ti6Al4V Alloy Manufactured by Selective Laser Melting. *Chinese Journal of Mechanical Engineering* volume, 122. doi:<https://doi.org/10.1186/s10033-021-00586-z>
- Sanchez Navas. (2020). *Modelo dinámico de procesos de fresado CNC en varios materiales para implementacion de un sistema de monitoreo de vibraciones chatter*. Obtenido de Universidad Antonio Nariño: <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/1469>
- Sims, N., Mann, B., & Huyanan, S. (2008). Analytical prediction of chatter stability for variable pitch and variable helix milling tools. *Journal of Sound and Vibration*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jsv.2008.03.045>
- SIN PAR GROUP. (13 de 06 de 2019). *Consejos y conceptos básicos sobre el fresado*. Recuperado el 15 de 09 de 2021, de <https://www.sinpar.com.ar/novedades/noticias/676-consejos-y-conceptos-basicos-sobre-el-fresado>

- T.Somkiat, & P.Narongsak, P. (27 de mayo de 2012). Development of chatter detection in milling processes. *he International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 919-927. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-012-4228-7>
- Túñez, M., Valarezo, K., & Marín, I. (2014). Impacto de la investigación y de los investigadores en comunicación en Latinoamérica. *Scielo*.
doi:<http://dx.doi.org/10.5294/pacla.2014.17.3.14>
- Uhlmann, E., Mahr, F., & D. Oberschmidr, D. (2011). Development of an Active Work Piece Holder for Vibration Assisted Micro Milling. *Institute for Machine Tools and Factory Management*. Obtenido de <https://www.euspen.eu/knowledge-base/ICE11301.pdf>
- Universidad de Alcalá. (s.f.). *Espectroscopía Vibracional*.
- Vosniakos, G.-C., & Matsas, E. (2010). Improving feasibility of robotic milling through robot placement optimisation. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2010.04.001>
- W.Cheng, J.Xue, & T.Dunbing. (septiembre de 2009). Deformation prediction and error compensation in multilayer milling processes for thin-walled parts. *international Journal of Machine Tools and Manufacture*, 859-864. Obtenido de [sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695509000959](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695509000959)
- White, G. (2010). *Introducción al análisis de vibraciones*.
- Y.Altintasa, G.Stepanb, D.Merdola, & Z.Dombovarib, Z. (2008). Chatter stability of milling in frequency and discrete time domain. *CIRP Journal of Manufacturing*

- Science and Technology*, 35-44. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755581708000072>
- Y.Caixu, G.Haining, & L.Xianli Y.Steven, L. (febrero de 2019). A review of chatter vibration research in milling. *Chinese Journal of Aeronautics*, 215-242. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1000936119300147>
- Y.Yang, J.Muñoa, & Y.Altinas. (2010). Optimization of multiple tuned mass dampers to suppress machine tool chatter. *International journal of machine tools and manufacture*, 834-842. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695510000763>
- Yuan, L., Pan, Z., Ding, D., Sun, S., & Li, W. (2018). A Review on Chatter in Robotic Machining Process Regarding Both Regenerative and Mode Coupling Mechanism. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*.
doi:<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8430609>
- Yue, C., Gao, H., Liu, X., Liang, S., & Wang, L. (2019). A review of chatter vibration research in milling.
- Z.Dombovari, A.Iglesias, M.Ztarain, & T.Insperger. (2011). Prediction of multiple dominant chatter frequencies in milling processe. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 457-464. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695511000320>
- Zhang, H.-T., Wu, Y., He, D., & Huan Zhao, H. (abril de 2015). Model predictive control to mitigate chatters in milling processes with input constraints. *International*

journal of machine tools an manufacture, 54-61. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S089069551530002X>

Zhu, L., & Liu, C. (2020). Recent progress of chatter prediction, detection and suppression in milling. *Mechanical Systems and Signal Processing*.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2020.106840>

Zhu, Z., Tang, X., Chen, C., Peng, F., Yan, R., Zhou, L., . . . Wu, J. (2020). High precision and efficiency robotic milling of complex parts: Challenges, approaches and trends. *Chinese Journal of Aeronautics*, 1.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.12.030>