DESARROLLO DE SOFTWARE PARA LA MEDICIÓN DE DESGASTE DE PLACAS DE CORTE POR MEDIO DE VISIÓN ARTIFICIAL UTILIZANDO LABVIEW®

JOSÉ SANTIAGO MENDOZA GARCÍA

DIRECTOR

ING. JOHN ALEJANDRO FORERO CASALLAS M.SC.

UNIVERSIDAD DISTRITAL – FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

TECNOLOGÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C.

2019

DESARROLLO DE SOFTWARE PARA LA MEDICIÓN DE DESGASTE DE PLACAS DE CORTE POR MEDIO DE VISIÓN ARTIFICIAL UTILIZANDO LABVIEW®

JOSÉ SANTIAGO MENDOZA GARCÍA

MONOGRAFÍA PARA OPTAR GRADO DE TECNÓLOGO MECÁNICO

DIRECTOR

ING. JOHN ALEJANDRO FORERO CASALLAS M.SC.

UNIVERSIDAD DISTRITAL – FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

TECNOLOGÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C.

2019

AGRADECIMIENTOS

El autor extiende muy especialmente agradecimientos a mi director el Ing. John Forero por su ayuda y compromiso la cual permitió llegar hasta este punto: al Ing. Miguel Pérez por facilitar el uso de la cámara con la que adquirieron las imágenes a estudiar; al Ing. Gustavo Higuera por colaborar en los protocolos de configuración en red del sistema de visión artificial; al Ing. Jefferson Infante de la empresa ORTOMAC S.A. por facilitar el uso de insertos normalizados para los procesos de medición; a mi amigo y futuro Ingeniero Heiver Sánchez por colaborar en el diseño de los sistemas de iluminación.

En lo personal agradecer a mi núcleo familiar por su apoyo y compresión durante este proceso.

A Julieth por su constante acompañamiento en estos meses y a mis amistades agradezco la motivación e importancia dada al proyecto.

RESUMEN

En algún momento de nuestra vida cotidiana, de seguro hemos pensado en lo importante que son las mediciones para el desarrollo de la vida misma, poder medir el tiempo, la distancia, la temperatura entre otras. Nos ha permitido llegar a donde estamos, porque hemos entendido lo provechoso que es lograr más con los mismo, por ello el mundo se enfrenta a la necesidad de optimizar procesos y más específicamente a la hora de hablar del desgaste en las herramientas de corte .En Colombia no contamos con grandes avances tecnológicos en cuanto a la medición de desgate de la herramientas de corte se refiere, por lo que lo más común a lo que llegamos es a la medición indirecta del desgaste. Esto produce un proceso de optimización restringido, que limita al empresario y a la industria colombiana. Con este proyecto se quiere implementar un dispositivo de medición directo del desgaste de la herramienta de corte, que sea seguro, fácil de instaurar y accesible, al mismo tiempo, incentivar al empresario a invertir en sistemas de medición, no como un gasto más, si no como una ganancia.

El proyecto requiere básicamente que se siga una metodología compuesta por fase de documentación, diseño y pruebas, con el fin de concretar los siguientes objetivos: realizar un estudio de las geometrías comerciales, fabricar un sistema de captura de imágenes, programar el software de procesamiento de imagen por medio de LabVIEW® y ejecutar las respectivas pruebas, con el objetivo de llegar a conclusiones válidas y acertadas de que es un sistema seguro y confiable en sus mediciones.

ABSTRACT

At some point in our daily life, we have surely thought about how important it is in measurements for the development of life itself, to be able to measure time, distance, temperature, among others. It has allowed us to get where we are, because we have understood what we have provided that is to achieve more with it, so that the world faces the need to optimize processes and more when talking about the wear and tear on the tools of cut. Colombia will not have great technological advances in terms of the management of cutting tools, as it is more common, with regard to printing. This produces a restricted optimization process, which limits the entrepreneur and the Colombian industry. This is a project that wants to implement a device for direct management of wear of the cutting tool, which is safe, easy to install and accessible, at the same time, encourage the entrepreneur to invest in measurement systems, not as an expense, if Not as a profit.

The project requires that an activity be followed. The information that must be followed LabVIEW® environment image and execute the respective tests, with the aim of arriving at the valid and accurate conclusions that it is a safe and reliable system in its results.

CONTENIDO

RESUMEN 4

ABSTRACT 5

CONTENIDO 6

ÍNDICE DE FIGURAS 10

ÍNDICE DE TABLAS 14

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15

1.1 ESTADO DEL ARTE 16

1.1.1 Medición del desgaste en herramientas de corte 17

1.1.2 *Application of statistical filtering for optical detection of tool wear* 21

1.1.3 *Assessment and visualization of machine tool wear using computer vision* 22

1.1.4 *Measurement of nose radius wear in turning tools from a single 2D image using machine vision* 23

1.1.5 *Machine vision for tool status monitoring in turning Inconel 718 using blob analysis* 25

1.1.6 Predicting tool life in turning operations using neural networks and image processing 26

1.1.7 Dimensionamiento de piezas usando el sistema de visión de la celda de manufactura flexible en la Facultad de Ingeniería Mecánica 27

1.1.8 Un método de monitoreo del desgaste de una herramienta de corte basado en un sensor de proximidad de fibra óptica 28

1.1.9 *Connectivity oriented fast hough transform for tool wear monitoring* 31

1.1.10 A new flexible high-resolution vision sensor for tool condition monitoring 31

1.2 JUSTIFICACIÓN.....33

2 OBJETIVOS 34

2.1 OBJETIVO GENERAL 34

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....34

2.2.1 Documentar los tipos de insertos de corte para torno estandarizado, identificando las variaciones geométricas que se producen por efectos del desgaste.....34

2.2.2 Implementar un sistema de captura de imagen de la geometría a estudiar en los procesos de desgaste por mecanizado.....35

2.2.3 Programar en LabVIEW® el *software* para el procesamiento y medición de las variables geométricas a estudiar en los insertos de corte. 35

2.2.4 Proponer un protocolo de validación de los resultados arrojados por el software y con ello determinar el nivel de confianza que brinda el nuevo sistema de medición.....35

2.2.5 Evaluar los costos originados por el desarrollo del proyecto.....35

3 MARCO TEÓRIC0 35

3.1 HERRAMIENTA DE CORTE 35

3.1.1 Nomenclatura de las placas de corte ISO 1832. 37
3.1.2 Desgaste en herramientas de corte.....38
3.1.3 Mecanismo de desgaste.....38
3.1.4 Tipos de desgaste. 44
3.1.5 Vida útil.....53
3.1.6 Predicción del desgaste 53
3.1.7 Criterio de desgaste 54
4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL 58
4.1 INTRODUCCIÓN.....58
4.2 HERRAMIENTAS DE CORTE.....59
4.2.1 Geometría seleccionada.....59
4.2.2 Área de interés en la herramienta de corte 60
4.3 SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.....60
4.3.1Dispositivo de adquisición de imágenes. 61
4.3.2 Sistema de iluminación.....63
4.3.3 Soporte.....66
4.3.4 Montaje y ubicación de la cámara. 68
4.4 PROGRAMACIÓN Y CREACIÓN DEL SOFTWARE EN LABVIEW.....69
4.4.1 Procesamiento de imágenes con *vision builder for automated inspection*. 69

4.4.2 Bloques de programación en labview® 75

4.4.3 Interfaz del usuario 77

4.5 PROTOCOLO DE INSTRUCCIONES PARA MEDIR EL DESGASTE, ENSAYOS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS 77

4.5.1 Protocolo de instrucciones 77

4.5.2 Diseño de experimentos para la validación de resultados 78

4.6 PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN 84

5 CONCLUSIONES 86

6 ALCANCE 88

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 89

8 ANEXOS ..... **¡Error! Marcador no definido.**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Métodos de medición del desgaste en herramientas de corte 18

Figura 2: Artículos publicados medición del desgate por método indirecto a 2013. 19

Figura 3: Artículos publicados medición del desgate por método directo a 2013. .20

Figura 4:El principio de algoritmo estadístico. 21

Figura 5: Medición de la extensión de desgaste en los costados VB en las puntas de carburo (izquierda) y fresas (derecha). 23

Figura 6: Diagrama de flujo para detección de perfil de nariz en coordenadas de radio polar. 24

Figura 7: Diagrama de flujo para detección de perfil de nariz en coordenadas de radio polar. 25

Figura 8: Ejemplo de dos imágenes antes (a) y después b) del análisis con el de desgaste neuronal. 27

Figura 9: Sensor de fibra óptica y herramienta de fresado. 29

Figura 10: Configuración del transductor. 30

Figura 11: Pasos de la actividad del sensor. 32

Figura 12: Ejemplo 1 código designación ISO 1832 37

Figura 13: Ejemplo 2 códigos designación ISO 1832 37

Figura 14: Desgaste por abrasión. 39

Figura 15: Desgaste por adhesión. 40

Figura 16: Desgaste por fatiga. 41

Figura 17: Desgaste por oxidación. 42

Figura 18: Desgaste por difusión. 43

Figura 19: Mecanismos de desgaste de herramienta en función de la temperatura. 44

Figura 20: Zonas de desgaste de herramientas. 45

Figura 21: Desgaste en incidencia. 46

Figura 22: Desgaste en cráter 47

Figura 23: Filo recrecido o de aportación (BUE). 48

Figura 24: Desgaste en entalladura. 49

Figura 25:Deformación plástica. 50

Figura 26: Fisuras térmicas 51

Figura 27: Astillamiento o rotura de filo. 52

Figura 28: Gráfica en escala log-log de la velocidad de corte contra vida de la herramienta. 53

Figura 29. Criterio de desgaste en torneado ISO 3685. 55

Figura 30: Tipos de desgastes en operaciones de torneado. 55

Figura 31: Desgaste en la superficie de incidencia en herramientas de fresado. ..57

Figura 32: Elementos de un sistema de visión artificial. 60

Figura 33: Iluminación frontal.....63

Figura 34: Lamina de Foami. 64

Figura 35: a) Arco de LEDS, b) Ubicación del lente, c) Montaje iluminación. 65

Figura 36: Componente del sistema de iluminación. 66

Figura 37: Soporte de la cámara, iluminación y plaquitas.....67

Figura 38: Distancia e iluminación a medir. 68

Figura 39:a y b captura de las plaquitas en la cara de incidencia. c) captura en la cara de desprendimiento 69

Figura 40: Asistente de calibración.....70

Figura 41: Herramienta de calibración. 71

Figura 42: Resultado de la calibración. 71

Figura 43: Diagrama de flujo del algoritmo. 72

Figura 44: Herramienta para realizar el filtro en la imagen. 73

Figura 45: Herramientas para encontrar la zona de estudio en la imagen. 73

Figura 46: Herramientas utilizadas. 74

Figura 47: Representación de las herramientas utilizadas. 74

Figura 48: Diagrama de inspección en LABVIEW®.....75

Figura 49: Diagrama de inspección en LABVIEW.....76

Figura 50: Diagrama de inspección en LABVIEW.....76

Figura 51: Interfaz del usuario con indicador de vida útil color verde. 77

Figura 52: Plaquitas utilizadas en el experimento. 79

Figura 53: Resultados del estudio R&R realizado. Minitab (2019) 81

Figura 54:Kit bloques patrón marca Carl Zeiss 82

Figura 55:Posicion de los bloques patrón en el experimento. 83

Figura 56: Montaje del experimento en el laboratorio de Metrología de Universidad Nacional de Colombia. 83

Figura 57:Indicador de la desviación en la medición. 84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Criterios de desgaste. 58

Tabla 2: Especificaciones de la plaquita de corte seleccionada, todas las unidades en mm. 59

Tabla 3: Especificaciones técnicas de la cámara Bosch NBC 265 W. 61

Tabla 4: Características del lente Fujinon. 62

Tabla 5: Componentes de la varianza Minitab (2019).....80

Tabla 6: Presupuesto y fuentes de financiación.....85

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el mundo se ha evidenciado la necesidad de optimizar cualquier tipo de proceso mejorando la calidad con la que se realiza las mediciones, uno de estos y en el que se basa este documento, es en el cual se puede monitorear la vida de la herramienta de mecanizado; en especial las placas de corte. La necesidad de saber el estado de la herramienta es útil, ya que se puede prever cualquier tipo de anomalía dentro del proceso de mecanizado, pero el problema radica en que hasta ahora hay dos tipos de monitoreo, el directo y el indirecto, en el mejor de los casos se prefiere el método directo ya que informa en tiempo real el estado de la pieza, mientras que el método indirecto es menos preciso pero más accesible para la industria este informa del estado de la herramienta por medio de variables como el amperaje, ya que cuando la herramienta está desafilada dejará de ser el proceso más óptimo ya que requerirá más potencia para realizar el mismo trabajo, del método directo se ha probado con láser y se sabe que el reflejo es perjudicial para la vista humana, además es muy costoso.

Otra de las opciones es seguir las recomendaciones de servicio para las cuales el fabricante estima una vida útil de la herramienta. Ahora bien cuando centramos la búsqueda en Colombia la situación es mucho más compleja, aunque, el país desde el Instituto Nacional de Metrología reúne esfuerzos para que se realicen medidas más confiables en el país, puesto que son muy pocas las prácticas en donde se implementa esta tecnología, y la razón es porque a grandes rasgos puede parecer insignificante este hecho, es más, no conduce a pérdidas muy grandes, pero “pérdidas son pérdidas” sin importar el valor, por otro lado los accidentes puede que tampoco presenten muchos daños, sin embargo este hecho es relativo al tipo de mecanizado que se esté haciendo, así los operarios para

evitar accidentes, utilizan una herramienta nueva y desechan la antigua del cual no saben por completo si ya debería cambiarse o no, razón por lo que siguen habiendo pérdidas para la empresa.

En Bogotá D.C., no es muy común encontrar unos establecimientos que disponga de un sistema de medición que le permita en cualquier momento conocer el estado de la herramienta, por lo que se prefiere seguir las recomendaciones de operación del fabricante. Minimizando la vista periférica a la Universidad Distrital – Francisco José de Caldas, la máquina de CNC de la Facultad Tecnológica no cuenta con una tecnología para saber el estado de las herramientas, lo cual es una situación que debe preocupar, al entender la importancia de la aplicación de la metrología en los procesos de fabricación y no solo esto los futuros profesionales comprometidos con el desarrollo del país, se encentran en la obligación de aplicar las tecnologías para mejorar su entorno. Con el propósito de optimizar procesos, aumentando la seguridad y disminuir los errores.

1.1 ESTADO DEL ARTE

En la base de datos de la Universidad Distrital - Francisco José de Caldas se obtienen los recursos virtuales para acceder a la información que presente alguna relación con nuestro contenido, las bases en las que se buscó con más profundización son aquellas enfocadas a investigaciones tecnológicas, control e inteligencia artificial como Science Direct, Scopus, IEEE Xplore y Springer Link, en las cuales se obtuvieron resultados favorables acerca de programas o máquinas automatizadas que administran un programa de visión artificial para el control de la

vida útil de herramientas, que para este contenido solo será de herramientas de torneado.

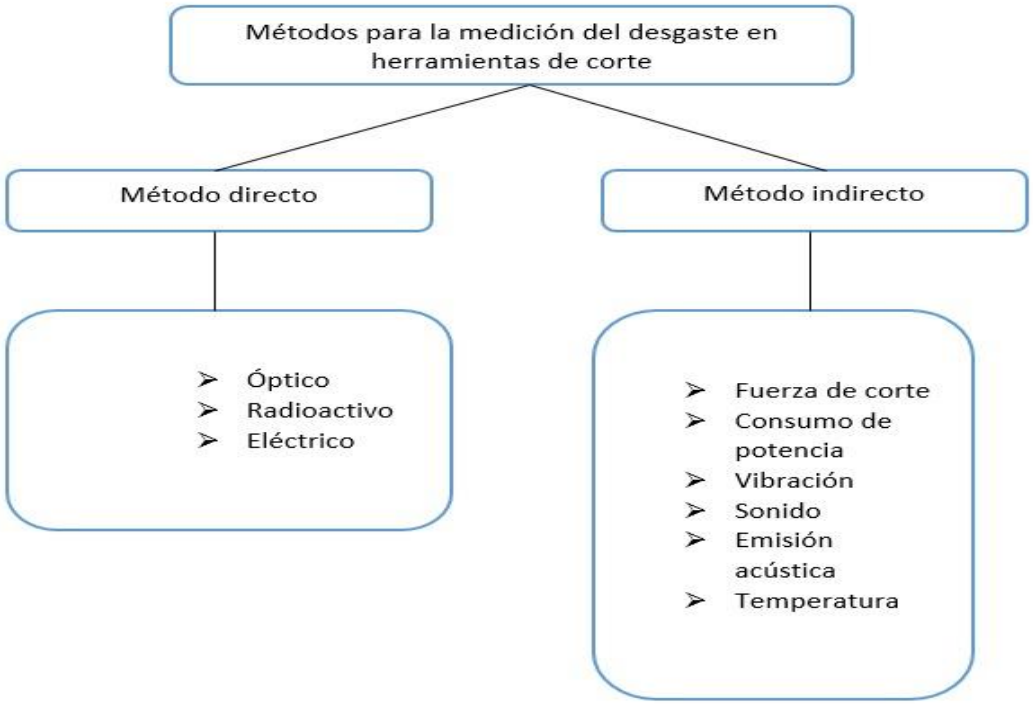
Las bases anteriormente mencionadas contienen material especializado sobre todo artículos respecto a la vida útil de herramientas, de allí se parte para lograr consolidar la recolección de datos acerca de la historia que hasta el momento se ha realizado en otros lugares del mundo sobre el tema propuesto y se logra observar dos características sobre este tema; en primera medida el gran avance tecnológico que presentan otros países respecto a Colombia y como segunda parte la importancia que conlleva mantener un control de vida útil de las herramientas para cualquier mecanizado, con el fin de minimizar costos en la industria y no solo eso sino también el hecho de que se pueden prevenir accidentes tanto para el operario como para la máquina con la que se esté realizando un determinado mecanizado. Ahora se presentará un conjunto de artículos para monitorear, medir el desgaste de herramientas, sistemas de medición con el fin de mostrar la evolución tecnológica, para a partir de lo construido apoyar la implementación de este prototipo en la Universidad Distrital.

1.1.1 Medición del desgaste en herramientas de corte. La importancia de inspeccionar el desgaste de las herramientas de corte se ha incrementado debido a que esto optimiza el proceso de mecanizado, disminuyendo evidentemente costos de operación, ya que disminuye tiempo de inactividad de la máquina y la pérdida de material. Se han desarrollado técnicas de medición de desgaste del flanco de la herramienta.

En el 2012 A. Siddhpura y R. Paurobally en la Universidad de Western Australia con el fin de proporcionar una visión amplia del desgaste del flanco, técnicas de monitoreo y su implementación en el sistema de monitoreo de condición de

herramientas (TCMS), este documento revisa tres características clave de un TCMS, a saber (1) Señal de adquisición, (2) procesamiento de señales y extracción de características, y (3) Técnicas de inteligencia para la toma de decisiones

Figura 1: Métodos de medición del desgaste en herramientas de corte



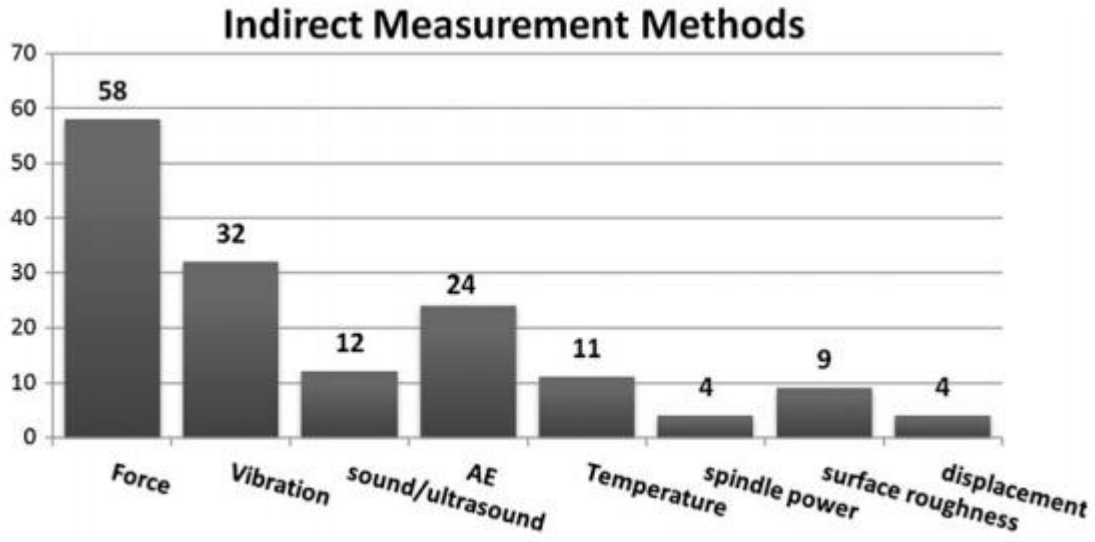
Fuente: Autoría propia.

En cuanto a la señal de adquisición para la medición del desgaste de la herramienta, se encuentran dos métodos el directo y el indirecto. El método directo es el más preciso en la medición del desgaste, pero se debe realizar fuera de línea debido a que es difícil de adecuarlo al entorno de trabajo por la presencia de fluidos y a la iluminación. El método indirecto es menos preciso en los resultados

de medición del desgaste, permite medir en línea y es más fácil de implementar en los entornos de trabajo. (Siddhpura & Paurobally, 2013.

1.1.1.1 Métodos indirectos. Estos métodos están basados en la medición del desgaste de la herramienta involucrando mediciones externas relacionadas con parámetros de operación tales como: fuerza de corte, vibración, sonido, emisión acústica, temperatura y rugosidad de superficies. En el siguiente cuadro se puede apreciar los trabajos publicados al 2013 implementando este método.

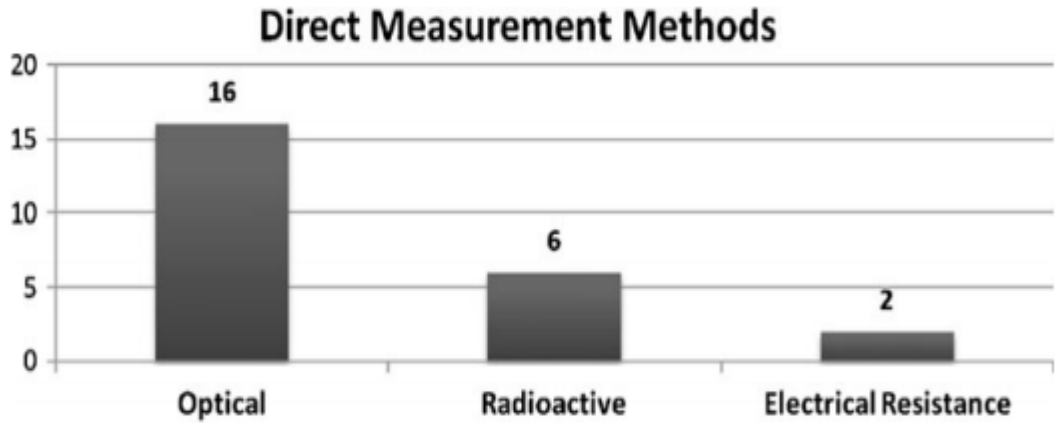
Figura 2: Artículos publicados medición del desgate por método indirecto a 2013.



Fuente: Siddhpura, A., & Paurobally, R. (2013). A review of flank wear prediction methods for tool condition monitoring in a turning process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *65*(1–4), 371–393. https://doi.org/10.1007/s00170-012-4177-1

1.1.1.2 Métodos directos. Están basados en la medición del desgaste de flanco directo sobre la superficie de la herramienta, los métodos más usados son sensores ópticos y la radiactividad, la ventaja que presentan, son su elevada precisión, sin embargo, son susceptibles al entorno de trabajo, principalmente al refrigerante, a la viruta y a la iluminación. Por lo que, es tedioso realizar la medición al instante. En el siguiente grafico se pueden las publicaciones a 2012 referentes al uso de estos métodos.

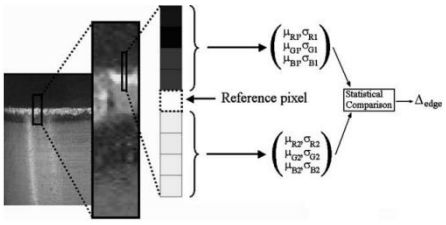
Figura 3: Artículos publicados medición del desgate por método directo a 2013.



Fuente: Siddhpura, A., & Paurobally, R. (2013). A review of flank wear prediction methods for tool condition monitoring in a turning process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *65*(1–4), 371–393. https://doi.org/10.1007/s00170-012-4177-1

1.1.2 ***Application of statistical filtering for optical detection of tool wear***. Documento extraído de la universidad Undine, creado por el departamento de Electricidad, Gestión e Ingeniería Mecánica, en el año 2002.En este documento se muestra una técnica para definir los bordes de una herramienta desgastada por medio de visión artificial o computarizada como se menciona en el archivo, se muestra una comparación usando diferentes algoritmos (Smoothed, Sobel, Laplace y Previt), y se muestra la falencia de cada uno en cuanto a la detección de bordes, de esta forma, se implementa un nuevo algoritmo direccional para la detección del área desgastada por la herramienta mediante un filtro estadístico, en el cual: "Dado un píxel de referencia, los píxeles circundantes se agrupan en conjuntos (por ejemplo, el píxel en la parte inferior y en la parte superior del píxel de referencia) y los parámetros estadísticos (media y desviaciones estándar) se calculan para cada conjunto y para cada color fundamental (rojo, verde y azul). Luego, los parámetros establecidos se comparan con los parámetros del otro conjunto usando métodos estadísticos de comparación de poblaciones y se calcula el borde para cada color fundamental"

Figura 4:El principio de algoritmo estadístico.



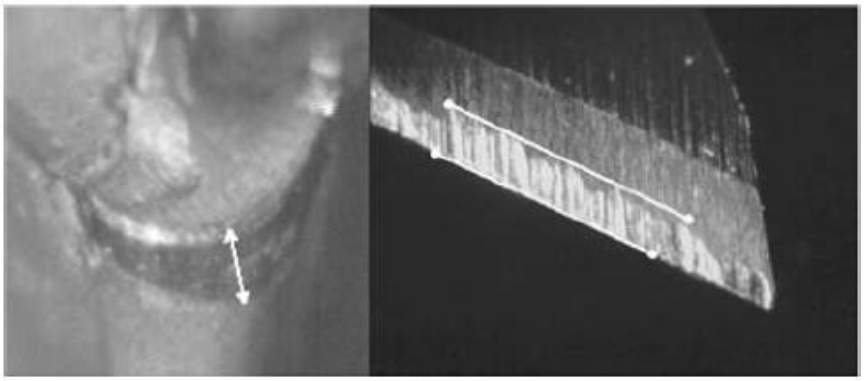
Fuente: Sortino, M. (2003). Application of statistical filtering for optical detection of tool wear. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 43(5), 493–497. https://doi.org/10.1016/S0890-6955(02)00266-3

Para desarrollar la parte práctica se utiliza el software WEARSON provisto de un PC portátil y una cámara, el sistema es capaz de adquirir imágenes de tamaño 640x480, y afirman que este es muy confiable a la hora de obtener resultados, ya que ,el tamaño del píxel es de 10µm y el tamaño del VB max varía entre 0.1 y 2.5 mm para herramientas desgastadas así que presenta una alta precisión en cuanto a la medición; dando un error del 10% por tal motivo se considera como una metodología confiable. Concluyendo es un sistema efectivo para la detección de bordes con un filtrado estadístico de imágenes, el problema de precisión para tamaños menores a 10µm se puede resolver usando una fuente de video más sofisticada, la aplicación es grande pero no es en línea sino es por medio del procesamiento de imágenes.

1.1.3 ***Assessment and visualization of machine tool wear using computer vision***. Documento extraído de *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* volume 28, en abril de 2006. Los autores de este artículo presentan técnicas para la medición del desgaste de las herramientas usando un procesamiento de imágenes digitales, debido a que como indican en su escrito es la forma más apropiada de realizar un monitoreo del estado de la herramienta en operaciones tanto de torneado como de fresado. En este título idean una forma en la que correlacionan el desgaste de una herramienta con su tiempo de corte; de tal forma que crean un histograma de los anteriores datos. En cuanto al análisis de las imágenes, se utilizó una cámara monocromática de TV CCD (*Charge-Coupled Device*) o Dispositivo de Carga Acoplada; con la cual se obtuvo una resolución de 768 x 576 píxeles, con el fin de utilizarla para el reconocimiento de texturas que fue el enfoque que se le dio para la comparación en los tiempos de corte contra el desgaste superficial de la herramienta o clasificación sus texturas. Después de la construcción manual de los histogramas se analiza por medio de una técnica que se conoce como matriz de con-ocurrencia

de nivel gris GLCM (*gray level co-occurrence matriz*), precisan el hecho de que hay 256 valores para la escala de grises y usan una vista periférica del borde de corte principal (VB) en la cual involucra 4 vistas para dar una imagen bidimensional y de esta forma crear una matriz de 256 x 256 para cada una de las dos direcciones de enfoque, de igual forma mencionan la creación de una frecuencia espacial para la refracción de luz en la cámara, la razón a la que se debe su creación es el hecho de que la luz refleja en la superficie del material y altera los datos de medición.

Figura 5: Medición de la extensión de desgaste en los costados VB en las puntas de carburo (izquierda) y fresas (derecha).

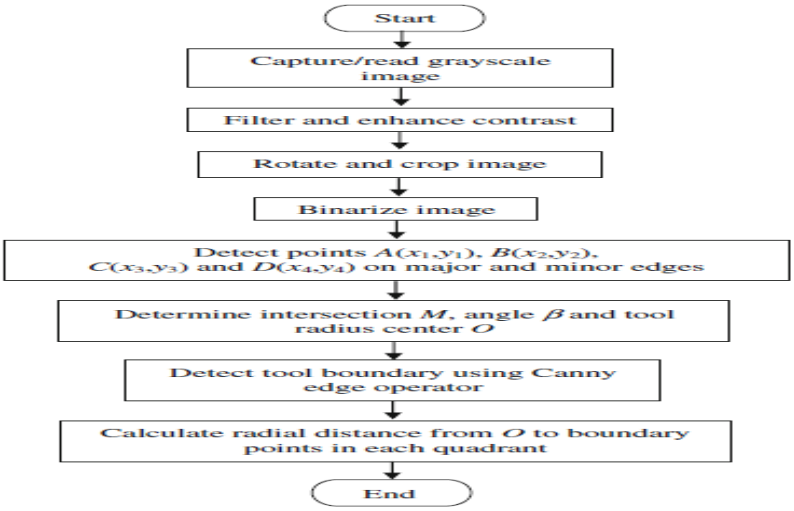


Fuente: Kerr, D., Pengilley, J., & Garwood, R. (2006). Assessment and visualisation of machine tool wear using computer vision. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. https://doi.org/10.1007/s00170-004-2420-0

1.1.4 *Measurement of nose radius wear in turning tools from a single 2D image using machine vision*. Documento extraído de The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, volume 43, en el año 2009. Presentan los autores en este artículo que, no solo se puede usar una técnica de medición de

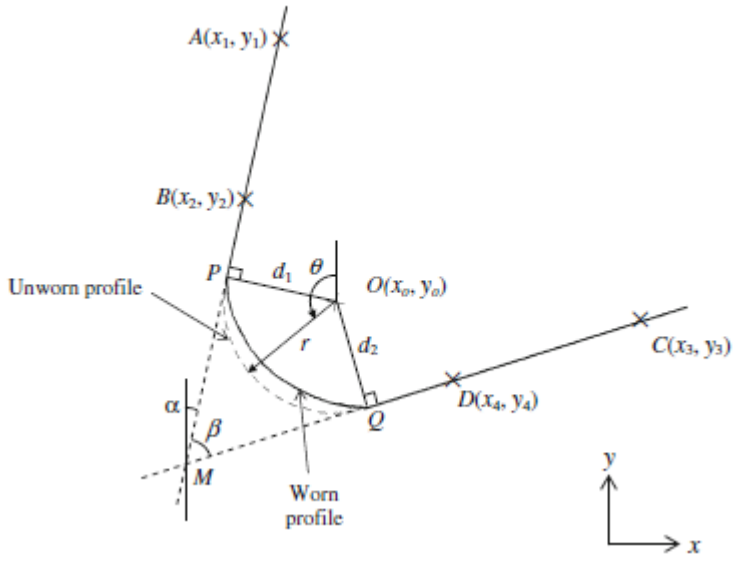
desgaste de herramientas por medio de comparación entre la imagen de la misma antes de usar y después de usar, es decir, que, idean una nueva forma en la que solo se utilice una sola imagen en 2D para observar el desgaste, en este escrito lo que se va a medir es el desgaste del radio de la nariz en herramientas de torneado, por medio de un algoritmo planteado en Matlab (MATLAB 7.0 m-file) para la detección de imágenes; en donde se analiza y se encuadra la imagen y con ayuda de efectos lumínicos logran recrear una vista en 2D con la cual proceden a realizar la medición del desgaste por medio de una interpolación de coordenadas para determinar desgaste en el radio de la nariz, se presenta una comparación con el método anteriormente mencionado que consiste en tomar dos imágenes (antes y después de usar), y realizan la resta de áreas, para lo cual los resultados de la precisión por medio del uso de una sola imagen fue razonable.

Figura 6: Diagrama de flujo para detección de perfil de nariz en coordenadas de radio polar.



Fuente: Mook, W. K., Shahabi, H. H., & Ratnam, M. M. (2009). Measurement of nose radius wear in turning tools from a single 2D image using machine vision. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. https://doi.org/10.1007/s00170-008-1712-1

Figura 7: Diagrama de flujo para detección de perfil de nariz en coordenadas de radio polar.



Fuente: Mook, W. K., Shahabi, H. H., & Ratnam, M. M. (2009). Measurement of nose radius wear in turning tools from a single 2D image using machine vision. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. https://doi.org/10.1007/s00170-008-1712-1

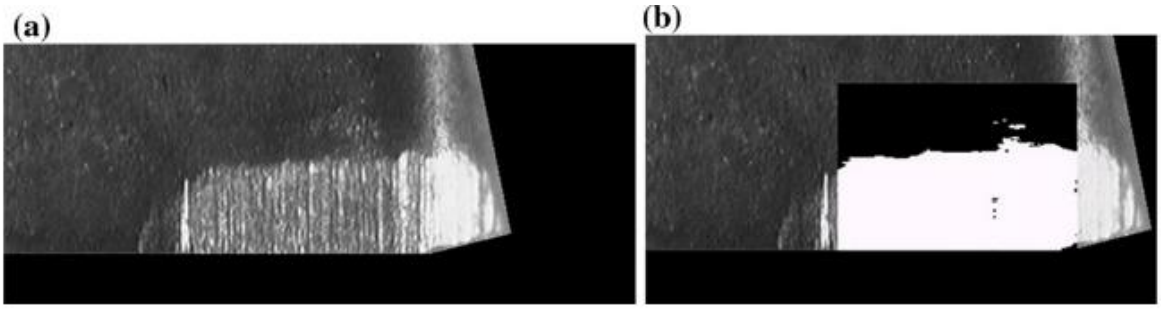
1.1.5 *Machine vision for tool status monitoring in turning Inconel 718 using blob analysis.* Este artículo fue realizado por autores de las universidades de Maharajá Institute of Technology y P.E.S. College of Engineering, ubicadas en Mandya en Mysore, Karnataka, India y presentado en el año 2015. Los autores basan su investigación con respecto al proceso de automatización de la manufactura, monitoreando el sistema, con el fin de tener el control del proceso. Este método se basa en la visión de la máquina para determinar el estado de la herramienta con respecto a cada corte, y así determinar el tiempo de vida para luego reemplazarla. Lo que se analiza es el área de desgaste, por medio de tres

características, área de desgaste, perímetro y compacidad. Los autores plantean dos formas de reconocimiento del trabajo de la herramienta, de manera directa e indirecta, donde explican que la primera es por medio de minuciosos análisis y pruebas de laboratorio, los cuales son muy demorados en dar resultados inmediatos, sin embargo, no quiere decir que no sean útiles para poder identificar las zonas de desgaste y la vida de la herramienta. Esta la forma indirecta que indica por medio de otros indicios el desgaste, indicios como el sonido, las vibraciones, las fuerzas de corte y entre otras. Por medio de estos ámbitos y con ayuda de técnicas de visión, este artículo muestra porque algunas de estas técnicas son las más esperadas para utilizarlas en el trabajo.

1.1.6 Predicting tool life in turning operations using neural networks and image processing. Este documento se obtiene de la revista Mechanical Systems and Signal Processing (mmsp), con el apoyo de los departamentos de Ingeniería de Producción y de Métodos Computarizados de la Universidad de Ciencia y Tecnología de Polonia, el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Burgos de España y el departamento de Ingeniería Mecánica Automatizada de la Universidad Estatal del Sur de los Urales de Rusia publicado en el año 2017. En este artículo se presenta un modelo de predicción de la vida útil de la herramienta en dos fases, para esto hacen tres pruebas experimentales a tres herramientas usadas bajo las mismas condiciones, para la realización de estos test aplican la primera etapa, la cual consiste en recolectar la información utilizando procesos de medición convencionales al borde de corte de dos de las herramientas, posteriormente realizan la misma medición de valores por medio de un programa de desgaste neuronal que combina dos características; el reconocimiento de imágenes de desgaste del costado y una red neuronal, estos datos recolectados se usarán en la segunda etapa para alimentar la (ANN) por su siglas en inglés *(Artificial Networks Neural)* o Red neuronal artificial y poder realizar la construcción

de la ANN, esta se usará para determinar la vida útil de la tercera herramienta; para realizar esta modelación neuronal se basaron en un WEKA-programa de la Universidad de Waikato, la cual provee algoritmos para la construcción más eficiente de programa de aprendizaje para redes neuronales predictivas. Los resultados obtenidos estuvieron dentro del rango de error permitido y podría cumplir todos los requisitos industriales.

Figura 8: Ejemplo de dos imágenes antes (a) y después b) del análisis con el de desgaste neuronal.



Fuente: Mikołajczyk, T., Nowicki, K., Bustillo, A., & Pimenov, D. Y. (2018). Predicting tool life in turning operations using neural networks and image processing. *Mechanical Systems and Signal Processing*. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.11.022

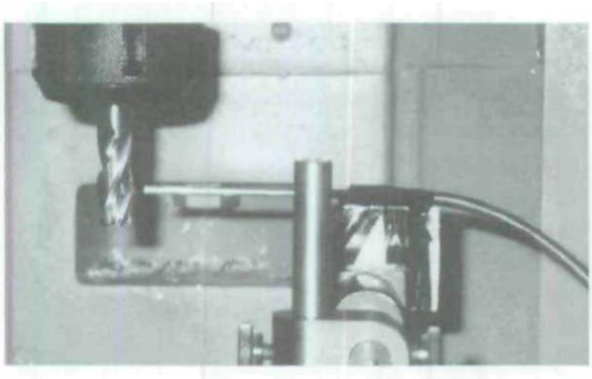
1.1.7 Dimensionamiento de piezas usando el sistema de visión de la celda de manufactura flexible en la Facultad de Ingeniería Mecánica. Documento encontrado en la Universidad Tecnológica de Pereira, presentado como tesis de grado para Ingeniería Mecánica, en el año 2007. En este documento se muestra una aproximación en cuanto a la aplicación de la visión artificial en la parte de

medición de piezas de dimensiones máximas de 38 mm x 27 mm, fabricadas en una celda de manufactura flexible que se encuentra en el interior de la universidad, con el fin de agilizar procesos de medición de las dimensiones de las mismas, para esto se utiliza LabVIEW® y NI-IMAQ de la National Instruments, en LabVIEW® se crean los algoritmos de procesamiento de imágenes, y con NI-IMAQ que es un vlc (Video-LAN server), se manipulan las imágenes para una efectiva lectura por parte del algoritmo, en el documento se muestran varias técnicas de iluminación y de procesamiento de imágenes, y se recomienda elegir la más adecuada dependiendo el tipo de aplicación a utilizar, la precisión del sistema de visión es muy dependiente de la buena calibración espacial, así que arroja conclusiones muy variables puesto que la limitación de los píxeles de la imagen es un factor predominante para la detección de bordes en las imágenes

1.1.8 Un método de monitoreo del desgaste de una herramienta de corte basado en un sensor de proximidad de fibra óptica. Este documento se encuentra publicado en la revista chilena de ingeniería su producción se realizó en la Universidad Autónoma de Querétaro, México en el año 2006. Este artículo expone un método directo para monitorear la condición de la herramienta en línea mientras la herramienta está trabajando. La contribución principal es proponer un método directo innovador, basado en un sensor de proximidad de fibra óptica (SPFO). También llamado sensor fotónico, para monitorear el desgaste de la

herramienta al instante con una resolución de menos de 1 micra. Se propone el uso de sensores de fibra óptica empleando técnicas de interferencia, modulación de longitud de onda y polarización.

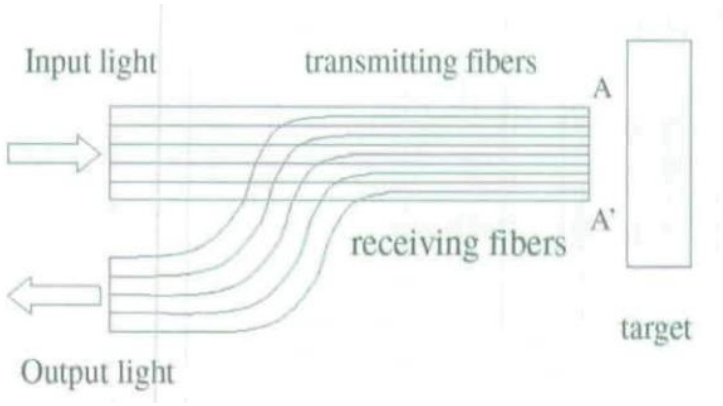
Figura 9: Sensor de fibra óptica y herramienta de fresado.



Fuente: De Anda-Rodríguez, G., & Castillo-Castañeda, E. (2006). Un Método De Monitoreo Del Desgaste De Una Herramienta De Corte Basado En Un Sensor De Proximidad De Fibra Óptica a Method for Cutting Tool Wear Monitoring Based on an Optical Fiber Proximity Probe. *Ingeniare -Revista Chilena de Ingeniería*, *14*(2), 124–129.

EI principio básico empleado por los transductores de fibra aplica para la detección del desplazamiento es usar dos grupos de fibras ópticas: uno que eleva la luz desde una fuente distante hasta una superficie objetiva, y otro que recibe la luz reflejada desde la superficie objetiva hasta una foto sensor.

Figura 10: Configuración del transductor.



Fuente: De Anda-Rodríguez, G., & Castillo-Castañeda, E. (2006). Un Método De Monitoreo Del Desgaste De Una Herramienta De Corte Basado En Un Sensor De Proximidad De Fibra Óptica a Method for Cutting Tool Wear Monitoring Based on an Optical Fiber Proximity Probe. *Ingeniare -Revista Chilena de Ingeniería*, *14*(2), 124–129.

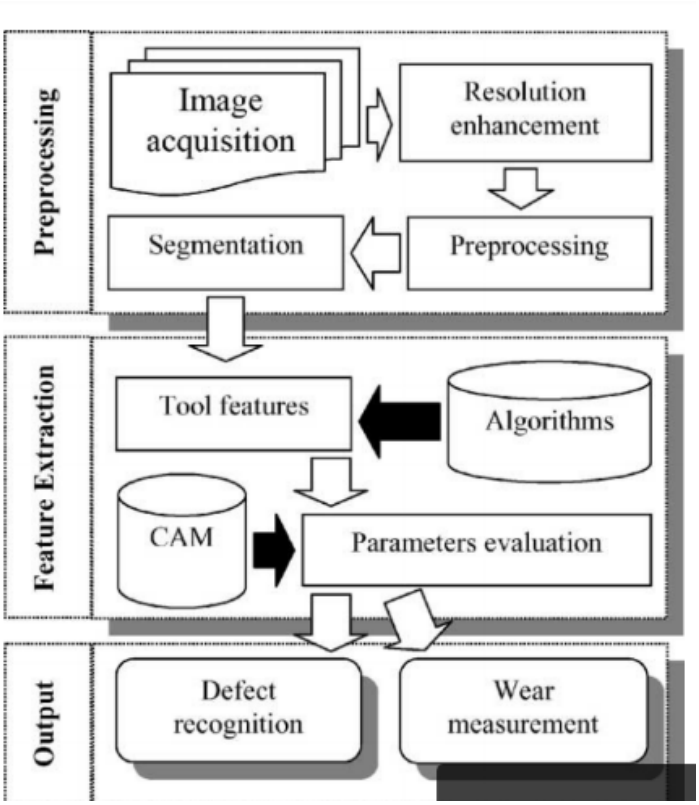
EI método directo desarrollado en este proyecto tiene la capacidad de reconstituir el perfil de la herramienta después de una sola vuelta de la herramienta, de esta forma, brinda una medición rápida y suficientemente precisa del desgaste. Para proteger la punta de prueba del sensor de viruta de metal durante el proceso de corte, se puede inyectar aire comprimido a un lado del sensor. La curva de respuesta del sensor depende del tipo de material de la superficie de contacto, por lo que la señal de distancia respectiva debe ser calibrada para cada nueva herramienta.

1.1.9 ***Connectivity oriented fast hough transform for tool wear monitoring***. Trabajo encontrado en el Departamento de Ingeniería Eléctrica e Informática, Universidad Nacional de Singapur año 2003. En este documento, de enfoque estructural se utiliza para analizar las texturas de las superficies mecanizadas. Nuestra conectividad orientada a una rápida transformación demuestra que es capaz de detectar segmentos de línea en las imágenes de los bordes de las superficies mecanizadas. Este algoritmo es más preciso y flexible que otros métodos basados en la transformación. Las características que se extraen de los segmentos de línea detectados demuestran una alta correlación con el desgaste de la herramienta. Una red neuronal MLP que se utiliza para aproximar la complicada relación entre las características y desgaste de la herramienta. Este trabajo constituye la base de un sistema robusto para la supervisión del desgaste de la herramienta en varios procesos de mecanizado. Las imágenes de las superficies mecanizadas son capturadas durante las pausas de los procesos de mecanizado, y el desgaste real de las herramientas de corte se mide usando un microscopio al mismo tiempo. Las imágenes están numeradas secuencialmente en el orden en que son capturados. Los procesos de mecanizado continúan hasta que las herramientas se rompan.

1.1.10 A new flexible high-resolution vision sensor for tool condition monitoring. Artículo encontrado en el Universidad de Pisa, Italia, Departamento de ingeniería mecánica, nuclear y de producción fue publicado en el año 2001. En este documento se propone un sensor en el que se realiza la clasificación del defecto por medio de la comparación con una morfología conocida. Para el reconocimiento automático, son necesarios los parámetros cuantitativos para definir valores de umbral y un conjunto de criterios geométricos para reconocer cada tipo de defecto. El objetivo final de este trabajo es la integración de todas las técnicas en un único sensor altamente flexible y automatizado. Las principales

características del sistema son dispositivo automático con capacidad de decisión autónoma y flexible, que es capaz de reconocer todos los tipos de defectos. Actualizable, que puede almacenar información sobre nuevos defectos o tipos de inserción. El sistema se basa en la adquisición de imágenes con dos cámaras, las imágenes son procesadas previamente y procesadas con los algoritmos para extraer las características de la herramienta.

Figura 11: Pasos de la actividad del sensor.



Fuente: Lanzetta, M. (2001). A new flexible high-resolution vision sensor for tool condition monitoring. *Journal of Materials Processing Technology*, *119*(1–3), 73–82. https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)00878-0

Se apoya en normas y en literatura técnica y científica y se ha probado en un conjunto de insertos procedentes de una empresa de fabricación. También se ha propuesto un flujo lógico global para el reconocimiento de defectos y la evaluación cuantitativa. Al mismo tiempo, se describió una configuración simple y completa del sistema de adquisición e iluminación y se abordaron los principales problemas de ingeniería, además, se han desarrollado todos los algoritmos para evaluar cuantitativamente cada defecto reconocido por el sensor. La principal ventaja de este método es su fácil implementación, pero su aplicación requiere pruebas específicas para determinar los parámetros del algoritmo. Los desarrollos futuros incluyen la integración del sensor de visión con un sistema CAD / CAM.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En el actual enfoque que se da están presentes dos factores primordiales, el desarrollo académico y el desarrollo industrial en Colombia; respecto al ámbito educativo una de las necesidades que se percibe es reconocer la importancia de realizar mediciones de calidad, en este caso específicamente en el desgaste de herramientas de corte, esto en pro de lograr mecanizados seguros y de calidad. En cuanto al ámbito industrial, se entiende muy bien que los accidentes son una de las consecuencias que más sobresale cuando los procesos no se realizan adecuadamente, en el caso de una herramienta de corte si esta se desgasta antes de lo esperado puede generarle a la empresa costos innecesarios, de ahí la importancia de monitorear el estado de la herramienta de forma directa, por lo que surge la pregunta ¿es rentable para una empresa poner en funcionamiento una tecnología de monitorización costosa y desconocida en el país como es la del láser y además dañina para la visión humana?

Teniendo en cuenta que la mayoría de las empresas colombianas son microempresas, es probable que muy pocas implanten esta tecnología, puesto que la solución puede llegar a salir más costosa que el problema. Debido a que la compra de maquinaria sofisticada incluye una capacitación de estos para su mismo cuidado, siendo poco beneficioso para la optimización que quiere realizar la empresa. De esta forma, se demuestra que no termina siendo muy llamativo para las empresas el poner en marcha este tipo de tecnología, sin embargo, nosotros tratamos de implementar un dispositivo adaptable tanto a un torno, como a un centro de mecanizado, garantizando un sistema de medición de desgaste seguro y que sea accesible para la industria colombiana, además, instruir al empresario de lo provechoso que puede ser optimizar procesos con este tipo de sistemas de medición.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema para la medición del desgaste en insertos de corte para torno por medio de visión artificial.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.2.1 Documentar los tipos de insertos de corte para torno estandarizado, identificando las variaciones geométricas que se

producen por efectos del desgaste.

2.2.2 Implementar un sistema de captura de imagen de la geometría a estudiar en los procesos de desgaste por mecanizado.

2.2.3 Programar en LabVIEW® el *software* para el procesamiento y medición de las variables geométricas a estudiar en los insertos de corte.

2.2.4 Proponer un protocolo de validación de los resultados arrojados por el software y con ello determinar el nivel de confianza que brinda el nuevo sistema de medición.

2.2.5 Evaluar los costos originados por el desarrollo del proyecto.

3 MARCO TEÓRIC0

3.1 HERRAMIENTA DE CORTE

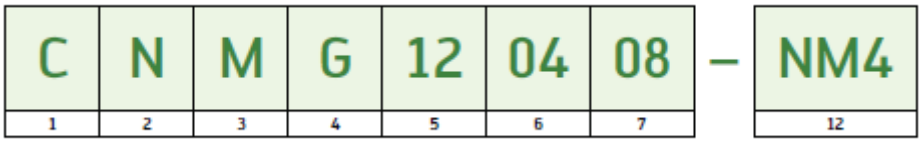
Los antecedentes de las placas de corte provienen desde el siglo XIX, se desarrollaron en la revolución industrial, en aquella época la herramienta de corte apenas lograba ser más dura que el material que se mecaniza. Por lo que, se desarrollaron aceros con mayor resistencia al desgaste por medio del tungsteno y manganeso, los cuales permiten a la herramienta soportar mayores temperaturas, disminuyendo la frecuencia de afilado. En 1900 con la llegada de los aceros

rápidos (HSS), se lograron velocidades de corte de hasta (40 metros/min), debido a su contenido de wolframio que mantenía la dureza hasta los 600 °C. Progresivamente se desarrollaron estos aceros consiguiendo velocidades de corte mayores. Los carburos cementados aparecieron en Alemania en 1930 compuesto 90 % de carburo de tungsteno, se soldaban pequeñas placas en mangos de herramientas para formar la herramienta de corte. No obstante, solo hasta la segunda guerra mundial fue necesario incrementar la demanda para la fabricación de armas y partes mecánicas, por lo cual fue necesario adicionar carburos de titanio mejorando la tenacidad de la herramienta previniendo la rápida rotura de filo.

Al estar soldadas estas placas presentaban dificultad para afilarlas, en 1960 se inició el desarrollo de la placa de corte intercambiable con una geometría determinada, permitiendo continuidad en los mecanizados al solo tener que desmontar y montar la plaquita, puesto que se sujetan mecánicamente. En el mercado de las plaquitas de corte se pueden resaltar los Cermets, formado por partículas de cerámica en un aglomerante metálico, posee una alta resistencia a la abrasión, los Cerámicos compuestos por óxido de aluminio y nitruro de silicio fundamentalmente, se pueden utilizar a altas velocidades de corte y soportan temperaturas en el filo de hasta 1500°C. Entre los nuevos materiales que se han desarrollado se encuentran el CBN (Nitruro de boro cúbico) posee una resistencia a la deformación incluso hasta los 2000°C y es más tenaz que las cerámicas. El diamante policristalino se trata de una sustancia de elevadísima resistencia a la abrasión, puede llegar a una temperatura de corte de hasta 600°C, es extremadamente frágil, pero brindan un excelente acabado superficial. (David Alcañiz Martínez, 2013)

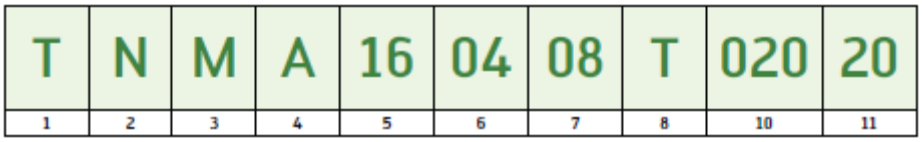
3.1.1 Nomenclatura de las placas de corte ISO 1832**.** La Organización internacional de estandarización (ISO), designó mediante la ISO 1832, la nomenclatura para las plaquitas de corte con geometrías regulares el código de designación consta de siete símbolos designando las dimensiones y otras características.

Figura 12: Ejemplo 1 código designación ISO 1832



Y para geometrías con punta el código de designación consta de doce símbolos para designar las dimensiones y otras características.

Figura 13: Ejemplo 2 códigos designación ISO 1832



Las cuatro primeras letras indican, respectivamente geometría, el ángulo de incidencia, la tolerancia y el sistema de sujeción. Los dos primeros números indican el tamaño del filo de corte y el espesor del inserto, cada número contiene dos cifras. El tercer número corresponde al radio de la punta. Los demás códigos son utilizados por el fabricante para la personalización de la herramienta.

(International Standard Organization, 2017). En el anexo A se detalla en su totalidad las geometrías y dimensiones contempladas en la norma.

En el trabajo de grado “Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico” realizado por la doctora Teresa Prado Cerqueira realizado en la Universidad de Vigo en España, se investigó a fondo acerca del desgaste en herramientas de corte por lo que se extrajo información relevante la cual se muestra en los siguientes ítems:

3.1.2 Desgaste en herramientas de corte. Durante el proceso de corte la herramienta sufre tensiones mecánicas, altas temperaturas y el efecto corrosivo del refrigerante en caso de su uso. La combinación de estos factores determina la vida de la herramienta, bien sea debido al desgaste progresivo que se produce en las zonas de contacto entre viruta-herramienta y entre pieza-herramienta o bien por la fractura repentina de la punta de la herramienta. Las fallas mecánicas o térmicas se pueden producir por un uso inadecuado de parámetros de corte como un avance demasiado grande o por un funcionamiento erróneo de la máquina.

3.1.3 Mecanismo de desgaste**.** Los mecanismos que generan desgaste a nivel de las interfaces herramienta-viruta y herramienta-trabajo en el maquinado pueden resumirse así:

- **Abrasión**

Es el mecanismo de desgaste más común durante el mecanizado en la industria, se define el desgaste abrasivo como la pérdida de masa resultante de la interacción entre partículas o asperezas duras que son forzadas contra una superficie y se mueven a lo largo de ella (Figura 14). El desgaste por abrasión en el mecanizado se produce principalmente en la superficie de incidencia de la herramienta. Se origina por la eliminación de las crestas superficiales en el desplazamiento entre la herramienta y la pieza cuando esta contiene constituyentes (nitruros, carburos, óxidos) más duros que la herramienta.

Figura 14: Desgaste por abrasión.



Fuente: Prado Teresa. (2015). *Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo). Retrieved from http://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

- **Adhesión**

Es el segundo mecanismo más común de desgaste de herramienta en mecanizado, cuando dos metales entran en contacto a alta presión y temperatura, ocurre la adhesión o soldado entre ellos (Figura 15). En el mecanizado las superficies en contacto de pieza y herramienta están sometidas a grandes cargas bajo un efecto de deformación. Si existe una afinidad entre los elementos químicos del cuerpo en contacto se produce una adsorción (soldadura fría) o una solubilidad (soldadura caliente). El desgaste por adhesión en el mecanizado se produce principalmente en la superficie de desprendimiento de la herramienta produciendo cráteres. A medida que la viruta fluye a través de la herramienta se rompen pequeñas partículas de la herramienta y se separan de la superficie, provocando así el desgaste de la superficie. La evolución de estos cráteres suele ser lineal con el tiempo y aumenta con la velocidad de corte.

Figura 15: Desgaste por adhesión.



Fuente: Prado Teresa. (2015).*Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo). Retrieved from http://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

- **Desgaste por fatiga**

El fenómeno de fatiga se debe generalmente a solicitaciones mecánicas y térmicas. Esta última es debida a la variación periódica de la temperatura de la herramienta en aquellas zonas que no tienen libertad de dilatación. El gradiente térmico entre la capa superficial y las capas subyacentes crean unas tensiones que provocan fisuras y grietas en la herramienta (Figura 16). La fatiga mecánica se debe a vibraciones, fricciones y solicitaciones alternas de compresión-tracción a las que se ve sometida la herramienta.

Figura 16: Desgaste por fatiga.



Fuente: Prado Teresa. (2015). *Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo). Retrieved from http://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

- **Desgaste por oxidación**

Las altas temperaturas y la presencia de aire producen oxidación en la mayoría de los metales, aunque los óxidos sean bastante diferentes. El tungsteno y el cobalto por ejemplo forman películas porosas de óxido que son fácilmente eliminables con la viruta, sin embargo, algunos óxidos como el de aluminio son mucho más resistentes y duros. Por tanto, algunos materiales de corte son más propensos al desgaste debido a la oxidación, especialmente entre la cara del filo y la viruta. Durante el mecanizado lubricado y a causa de la elevación de la temperatura de la herramienta, el agua contenida en los fluidos de corte se evapora. Esta evaporación del agua con el oxígeno del aire provoca una fragilización de la herramienta por oxidación. Esta oxidación provoca entallas que se forman en el filo, pero que no son muy frecuentes en el mecanizado (Figura 17).

Figura 17: Desgaste por oxidación.

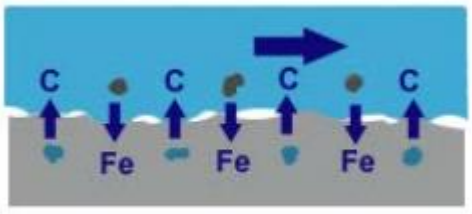


Fuente: Prado Teresa. (2015). *Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo). Retrieved from http://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

- **Desgaste por difusión**

La difusión es un mecanismo de solubilidad y de migración de átomos de un cuerpo al otro en el caso de cuerpos sólidos. Por lo tanto, es necesaria una afinidad entre los elementos de la materia mecanizada y aquellos de la herramienta. En el mecanizado este fenómeno aparece a grandes velocidades de corte y cuando la temperatura de la herramienta de corte es muy elevada. Las altas temperaturas y las presiones ejercidas proporcionan suficiente energía a los átomos para que estos puedan migrar desde la herramienta a la viruta o viceversa (Figura 18).

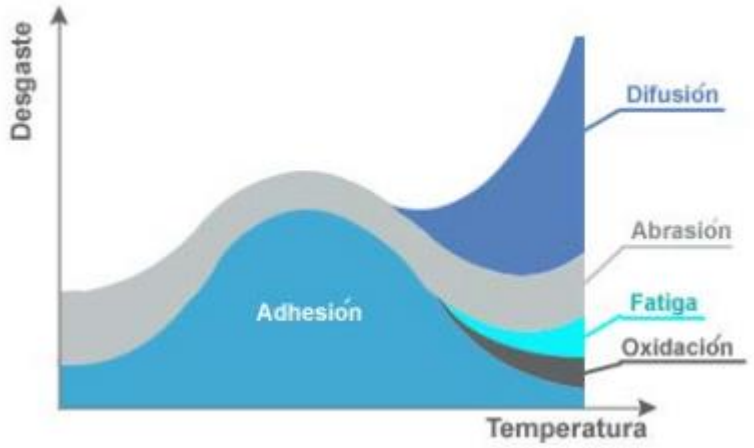
Figura 18: Desgaste por difusión.



Fuente: Prado Teresa. (2015)*Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo). Retrieved from http://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

El efecto que las condiciones de mecanizado producen sobre el mecanismo de desgaste de la herramienta es consonante con la temperatura alcanzada. Como puede verse en la Figura 19, los desgastes por adhesión y abrasión están presentes en cualquier rango de temperatura, mientras que los desgastes por fatiga y difusión aparecen a mayores temperaturas.

Figura 19: Mecanismos de desgaste de herramienta en función de la temperatura.



Fuente: Prado Teresa. (2015). *Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo). Retrieved from http://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

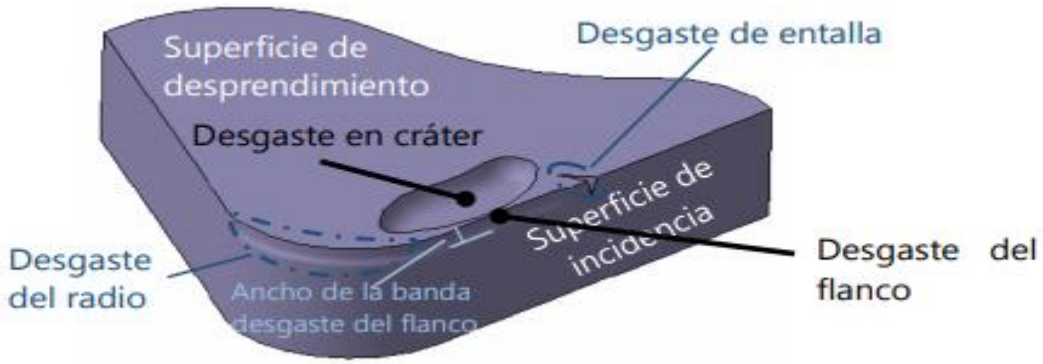
3.1.4 Tipos de desgaste. Mikell P. Groover recoge en su libro Fundamentos de Manufactura Moderna, el desgaste progresivo se manifiesta principalmente en dos zonas: en la parte superior de la superficie de ataque y en el flanco o superficie de

incidencia. De esta forma, podemos distinguir dos tipos principales de desgaste de herramienta (Figura 20): (Groover, 2007).

Desgaste en cráter: Es una sección cóncava de la superficie de ataque de la herramienta formada por la acción de la viruta que se desliza contra la superficie. Se mide bien por su profundidad bien por su área.

Desgaste del flanco: Ocurre en el flanco o superficie de incidencia de la herramienta como resultado del rozamiento entre la recién creada superficie de trabajo y la cara del flanco adyacente al borde de corte. Se mide por el ancho de la banda de desgaste

Figura 20: Zonas de desgaste de herramientas.



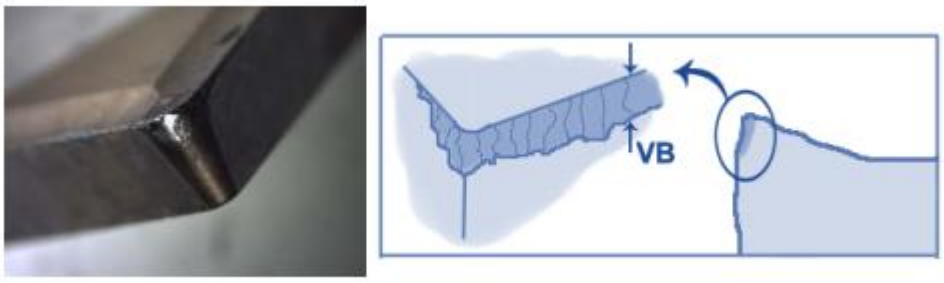
Fuente: Prado Teresa. (2015). *Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo). Retrieved from http://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

En estas zonas de desgaste se pueden identificar varias características, como un desgaste extremo en el flanco sobre el filo de corte (entalla) o el desgaste del radio de la nariz. Estas características de desgaste son importantes en los procesos de mecanizado, y generalmente se producen distintos tipos de desgaste de herramientas simultáneamente, siendo uno de ellos el dominante. Del desgaste producido dependen la precisión y calidad superficial que se exigen en las piezas mecanizadas. Por ese motivo se profundiza más en la definición de los diferentes tipos de desgaste de herramienta y así poder optimizar la productividad tomando la calidad de herramienta y datos de corte adecuados en función del tipo de operación y del material de la pieza a mecanizar. Los principales tipos de desgaste son

- **Desgaste de incidencia**

Es un desgaste principalmente abrasivo causado por los elementos duros del material de la pieza. Es el tipo de desgaste más deseable porque le confiere a la herramienta una vida útil estable y homogénea. Cuando el desgaste del flanco de incidencia es excesivo se produce un empeoramiento de la calidad superficial y un deterioro de la precisión dimensional debido al cambio en la geometría del filo.

Figura 21: Desgaste en incidencia.

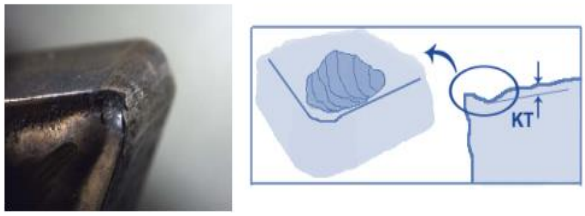


Fuente: Prado Teresa. (2015). *Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo). Retrieved from http://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

- **Cráteres**

Es un desgaste principalmente por adhesión que se localiza en el lado de desprendimiento de la plaquita. Se debe a una reacción química entre el material de la pieza y el de la herramienta, y se ve potenciado por la velocidad de corte. Un cráter de desgaste excesivo puede dar lugar a una incorrecta formación de viruta que cambie las direcciones de las fuerzas de corte y de ese modo variar la geometría del corte, debilitando el filo y provocando fracturas.

Figura 22: Desgaste en cráter.

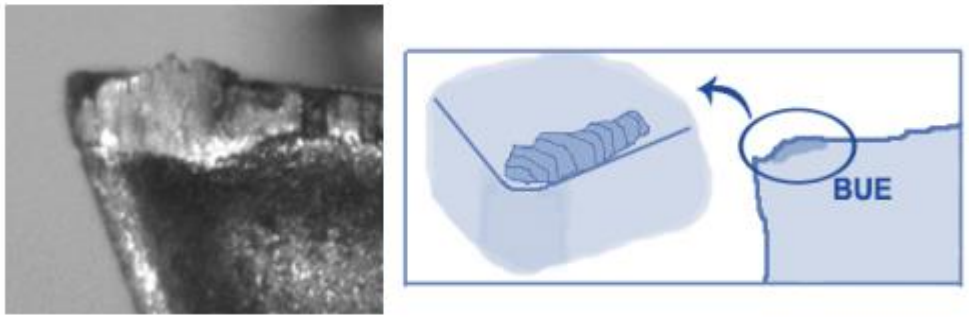


Fuente: Prado Teresa. (2015). *Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo). Retrieved from http://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

- **Filo recrecido o de aportación**

Es un desgaste de tipo adhesivo causado debido a la unión por soldadura de la viruta al filo de la plaquita debido a la presión. Suele darse este tipo de desgaste cuando se mecanizan materiales dúctiles, como acero de bajo contenido en carbono, acero inoxidable y aluminio. La formación de filo recrecido se acentúa con velocidades de corte bajas, y como todo desgaste afecta a la calidad de acabado superficial de la pieza mecanizada.

Figura 23: Filo recrecido o de aportación (BUE).

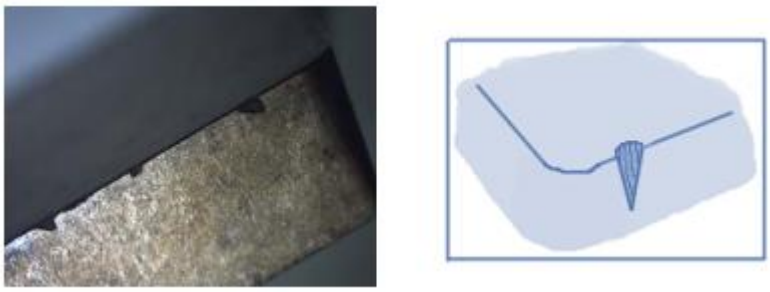


Fuente: Prado Teresa. (2015). *Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo). Retrieved from http://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

- **Desgaste en entalladura**

Este desgaste se caracteriza por un daño excesivo y localizado tanto en la cara de desprendimiento como en el flanco de la plaquita. Está causado por adherencia (soldadura por presión de la viruta en la plaquita) y por superficie endurecida por deformación. Es un tipo de desgaste común en el mecanizado de materiales endurecidos por deformación como aceros inoxidables y superaleaciones termorresistentes Este tipo de desgaste afecta a la calidad del acabado y puede debilitar el filo de corte.

Figura 24: Desgaste en entalladura.

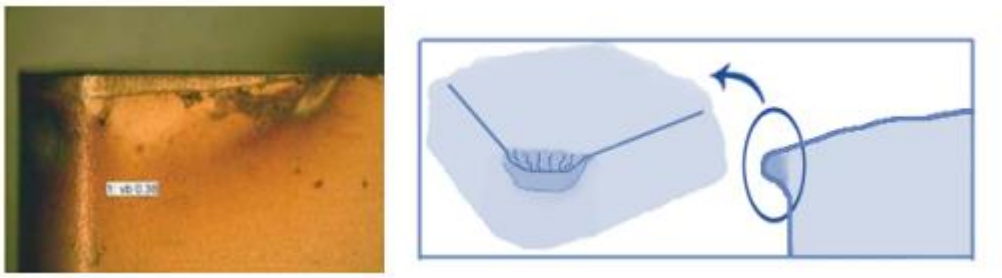


Fuente: Prado Teresa. (2015). *Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo). Retrieved from http://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

- **Deformación plástica**

La deformación plástica está causada por un mecanismo de desgaste térmico. Si la temperatura de mecanizado es demasiado alta para una determinada calidad de material de herramienta, este material se ablanda y deforma. Tal deformación cambia la geometría del filo de corte acelerando el desgaste de la herramienta, aumentando las fuerzas de corte, el riesgo de fallo de la herramienta, las vibraciones y empeorando la precisión dimensional y el acabado superficial. En general, las calidades de herramienta más duras y los recubrimientos más gruesos mejoran la resistencia al desgaste por deformación plástica.

Figura 25:Deformación plástica.

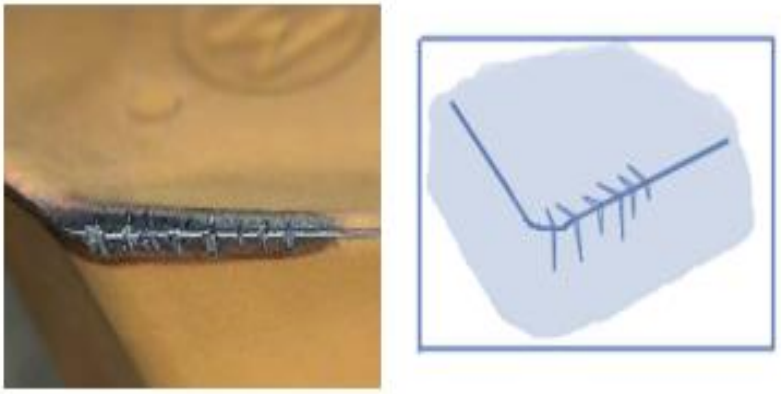


Fuente: Prado Teresa. (2015). *Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo).fromhttp://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

- **Fisuras térmicas**

Es un desgaste principalmente causado por fatiga térmica, cuando la temperatura del filo cambia rápidamente entre frío y calor. Este cambio térmico provoca varias fisuras en dirección perpendicular al filo. Estas fisuras se asocian normalmente a cortes intermitentes, habituales en operaciones de fresado, y se ven agravadas por el uso de refrigerante.

Figura 26: Fisuras térmicas.

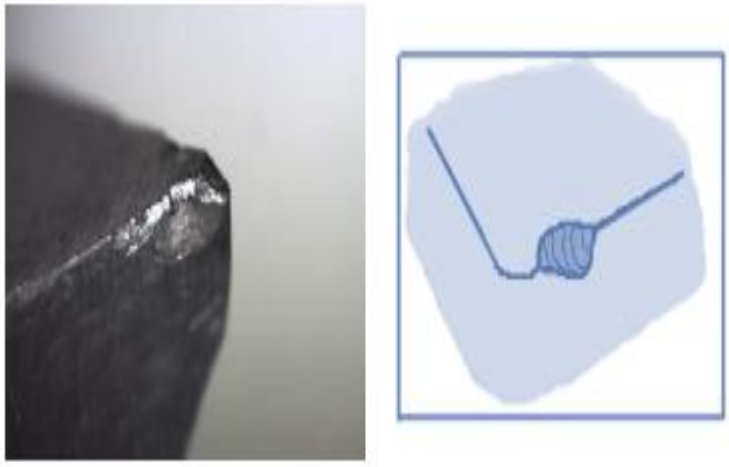


Fuente: Prado Teresa. (2015). *Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo). Retrievedhttp://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

- **Astillamiento o rotura de filo**

El astillamiento o rotura del filo es un desgaste mecánico como resultado de una sobrecarga de tensión mecánica. Esta tensión puede estar producida por distintas causas, como martillado de virutas, profundidad de corte o avance demasiado elevados, incrustaciones de arena en el material de la pieza, filo recrecido, vibración o desgaste excesivo de la plaquita.

Figura 27: Astillamiento o rotura de filo.

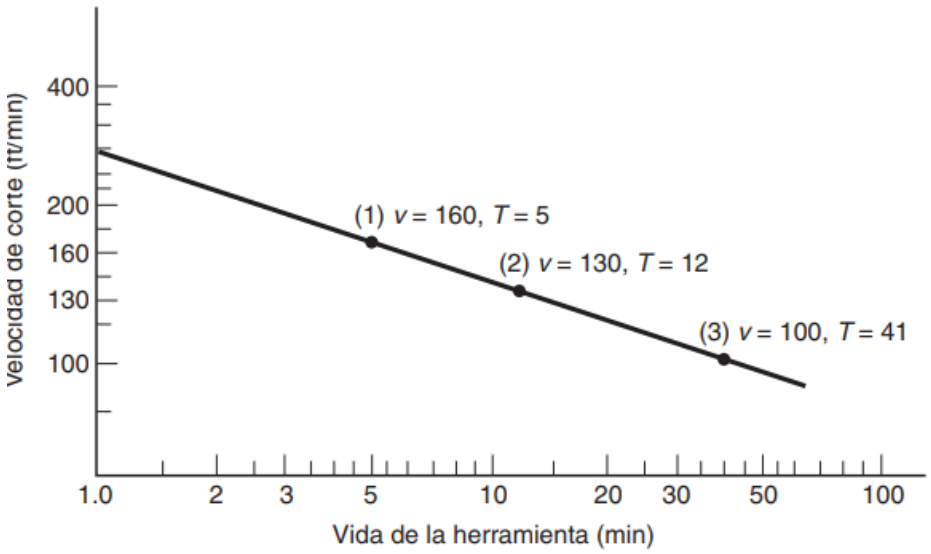


Fuente: Prado Teresa. (2015). *Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo). Retrieved from http://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

3.1.5 Vida útil**.** Es importante diferenciar entre la vida de la herramienta de corte y el tiempo para alcanzar el fallo. Así, por vida de la herramienta se define típicamente el tiempo efectivo de corte hasta alcanzar un valor límite del criterio de desgaste establecido, generalmente un ancho de desgaste de flanco; mientras que el tiempo hasta el fallo es el tiempo efectivo de corte hasta la aparición del fallo. (Prado Teresa, 2015)

3.1.6 Predicción del desgaste**.** Han sido muchos los modelos desarrollados para establecer la vida de la herramienta en función de las condiciones de corte, comenzando en el año 1906 con Frederick Taylor quien estableció la fórmula de desgaste que aún se usa hoy en día.

Figura 28: Gráfica en escala log-log de la velocidad de corte contra vida de la herramienta.



Fuente: Groover, M. P. (2007). Fundamentos de la Manufactura Moderna

$$vt^n = C$$ Ecuación (1)

El descubrimiento de esta relación hacia el año 1900 se le atribuye a F. W. Taylor. Se puede expresar en forma de ecuación y se llama la ecuación de Taylor para la vida de una herramienta

donde V= velocidad de corte, m/min (ft/min), T =vida de la herramienta, min; n y C son parámetros cuyos valores dependen del avance, de la profundidad de corte, del material de corte, de la herramienta (material en particular) y del criterio usado para la vida de la herramienta. El valor de n es una constante relativa para un material de herramienta determinado, mientras que C depende más del material de la herramienta, material de trabajo y de las condiciones de corte. (Groover, 2007).

3.1.7 Criterio de desgaste. Para unificar los procesos de medición del desgaste en herramientas de corte y así incrementar la fiabilidad y la comparación de los resultados de los ensayos, se han establecido una serie de normas internacionales como la ISO 3685 "*Tool-life testing with single-point turning tools*" en procesos de torneado o las ISO 8688-1 y 2 "*Tool life testing in milling*" en procesos de fresado. (Prado Teresa, 2015)

La norma **ISO 3685** definen el procedimiento de pruebas para el establecimiento de la duración de las herramientas en torneado y se reflejan los datos a registrar, las magnitudes a medir, y se caracterizan los tipos de desgaste que pueden ser observados.

Los criterios más comúnmente empleados en la medición del desgaste son los siguientes, la medición se realiza en la zona B.

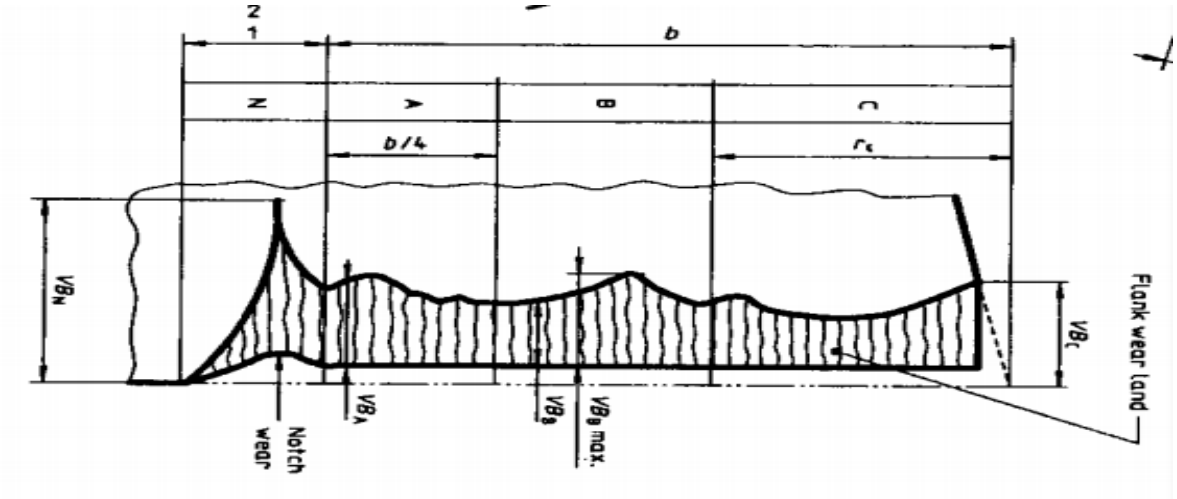
En la zona de desgaste no uniforme, el máximo ancho de desgaste de flanco es $\boldsymbol{VBB\ MAX = 0,6}$ **mm** En la zona de desgaste uniforme, el ancho promedio de desgaste de flanco es **VBB= 0,3 mm**

Figura 29. Criterio de desgaste en torneado ISO 3685.

Criterios	ISO 3685
Desgaste no uniforme VBB Máximo	0,6 mm
Desgaste uniforme VBB	0,3 mm

Fuente: Autoría Propia

Figura 30: Tipos de desgastes en operaciones de torneado.



Fuente: International Standard Organization. (1993). *ISO 3685 " Tool-life testing with single-point turning tools"* (p. 30). p. 48.

Con el propósito de realizar mejores mediciones en el filo de corte se divide la zona en cuatro…

Zona C: Es la parte curva del filo de corte en la esquina de la herramienta.

Zona B: Es la parte restante recta del filo de corte entre zona A y C

Zona A: Es el cuarto de la longitud del filo de corte desgastado (b), esquina más alejada de la herramienta.

Zona N: Medición de la muesca.

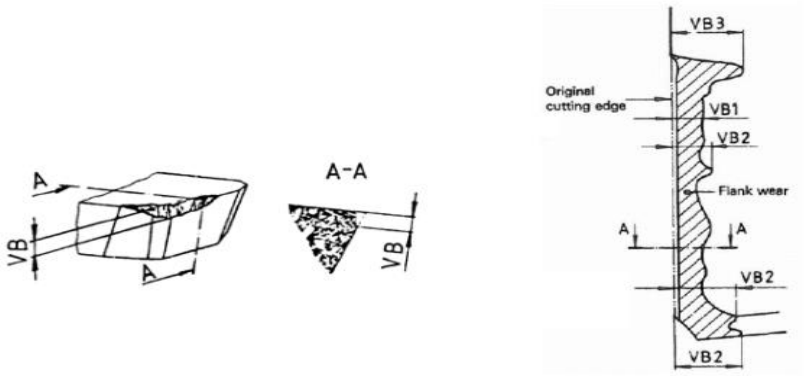
En la superficie de incidencia se produce el desgaste de flanco, notado como VB por las normas **ISO 8688** *Tool life testing in milling.* Estas normas recogen distintos tipos de desgaste de flanco, para los cuales recomienda unos valores numéricos predefinidos como criterio para alcanzar el fin de la vida útil de las herramientas (Figura 30):

• Desgaste uniforme de flanco (VB1)

• Desgaste de flanco no uniforme (VB2)

• Desgaste de flanco localizado (VB3)

Figura 31: Desgaste en la superficie de incidencia en herramientas de fresado.



Fuente: Prado Teresa. (2015). *Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo). Retrieved from http://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

En la figura 31, se establecen las recomendaciones de los criterios de desgaste de flanco y de cráter de las normas ISO 8688:1989, teniendo en cuenta que en el fresado frontal con plaquitas intercambiables se establece el criterio para las condiciones de corte establecidas en el apartado 6 de la norma, sobre materiales similares al indicado en el Anexo A de la misma, y con características de herramienta similares a las expuestas en el apartado 4.

Tabla 1: Criterios de desgaste.

Criterio	ISO 8688-1 Fresado Frontal (mm)	ISO 8688-2 Fresado de acabado(mm)
Desgaste uniforme de flanco (VB1)	0,35	0,3
Desgaste no uniforme de flanco (VB2)	1,2	-
Desgaste localizado flanco (VB3)	1	0,5

Fuente: Autoría propia

El desgaste de flanco es el criterio habitualmente empleado en la vida de la herramienta debido a que implica una variación significativa de dimensiones de la herramienta y por lo tanto en la dimensión de la pieza mecanizada. Los valores máximos usualmente aceptados son 0,3-0,5 mm, el primero para procesos de acabado y el último para procesos de desbaste.

4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

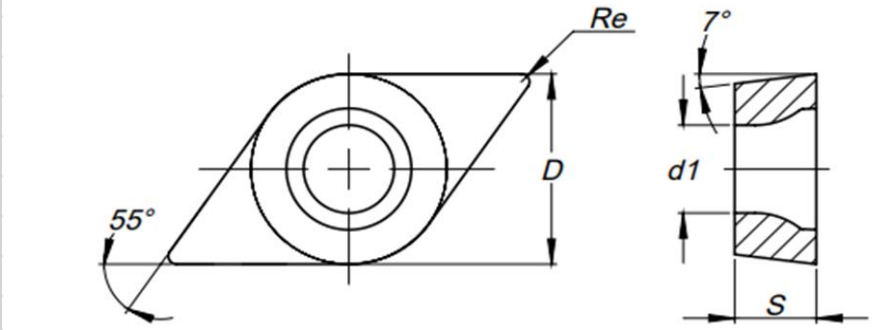
4.1 INTRODUCCIÓN

Se muestra a continuación la metodología llevaba a cabo para el desarrollo de la siguiente tesis con el objetivo de especificar los procedimientos en cada una de las fases, logrando así medir el desgaste en la placa de corte seleccionada.

4.2 HERRAMIENTAS DE CORTE

4.2.1 Geometría seleccionada**.** En el mercado de las placas de corte se pueden encontrar distintos fabricantes, diversos tipos de herramienta, con múltiples formas y recubrimientos en este estudio se seleccionó la plaquita de corte de la casa PALBIT®, utilizadas en procesos de mecanizado en la Facultad Tecnológica de Universidad Distrital – Francisco José de Caldas. Las características de la herramienta se muestran a continuación:

Tabla 2: Especificaciones de la plaquita de corte seleccionada, todas las unidades en mm.

ROMBICA DE 55° POSITIVA	
	
Referencia Iso	DCMW 11T304
Referencia ANSI	DCMW 32.51
Diametro (D)	9,52 mm
Grosor de la plaquita (S)	3,97 mm
Radio de la punta (Re)	0,4 mm
Diametro interno(d1)	4,4 mm
Profundidad de Avance(fn)	2,4 mm
Avance por Revolución	0,2 mm/rev

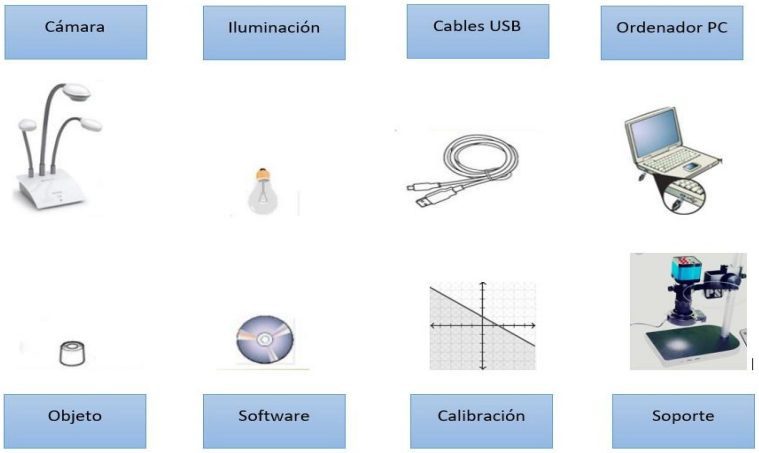
Fuente: Autoría propia.

4.2.2 Área de interés en la herramienta de corte. El área de estudio se determina con base en la investigación realizada y conforme la norma de la norma ISO 3685, en la cual se establecen los criterios para determinar la vida útil de la herramienta siendo estos principalmente desgaste de flanco en la cara de incidencia de la herramienta. En la placa de corte seleccionada se identifica esta zona y es en la que se determinó el desgaste.

4.3 SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Con el propósito de poner en marcha el sistema de visión artificial capaz de dar resultados válidos y teniendo en cuenta la teoría consultada acerca de procesamiento de imágenes se determinó que debe componerse principalmente de un dispositivo de adquisición de imágenes, un sistema de iluminación, estructura, soporte de la plaquita y una adecuada calibración.

Figura 32: Elementos de un sistema de visión artificial.



Fuente: Autoría propia

4.3.1Dispositivo de adquisición de imágenes. Este dispositivo permite la toma de imágenes en 2D, Con un sensor 1/4 CMOS de escaneo y una lente de distancia focal variable (2,8 a 8 mm), esta cámara compacta es capaz de capturar imágenes claras y detalladas de los objetos en movimiento. Gracias a la tecnología de compresión H.264, ofrece imágenes nítidas a la vez que reduce el ancho de banda y el espacio de almacenamiento. Las dimensiones de la cámara son 55 x 72 x 168 mm y la conexión se realiza vía Ethernet.

Tabla 3: Especificaciones técnicas de la cámara Bosch NBC 265 W.

BOSCH NBC 265 W		
	Input voltage	+12 VDC
	Power consumption	4.6 W (max)
	Sensor type	¼-inch CMOS
	Sensor pixels	1280 x 800
	Sensitivity	1.0 lux at F1.2
	Video resolution	720p, 4CIF/D1, VGA, CIF, QVGA
	Video compression	H.264 MP
	Ethernet	10/100 Base-T, auto-sensing, RJ45
	Wireless	LAN IEEE 802.11b/g
	Dimensions with lens (H x W x D)	55 x 72 x 168 mm
	Weight (with lens)	Approx. 255 g (0.56 lb)
	Operating Temperature (Camera)	0 ºC to +45 ºC
	Operating Temperature (Power supply)	0 ºC to +40 ºC

Fuente: Autoría propia

El lente yv2.8x2.8sa-2 de la casa Fujinon® es construido con vidrio de baja dispersión e índice de refracción, el lente esférico de alta precisión maximiza el rendimiento óptico, una montura de lente tipo CS (metal) está integrada en el

conjunto del lente, tiene una apertura amplia de F / 1.2 y ofrece imágenes detalladas incluso en condiciones de poca iluminación.

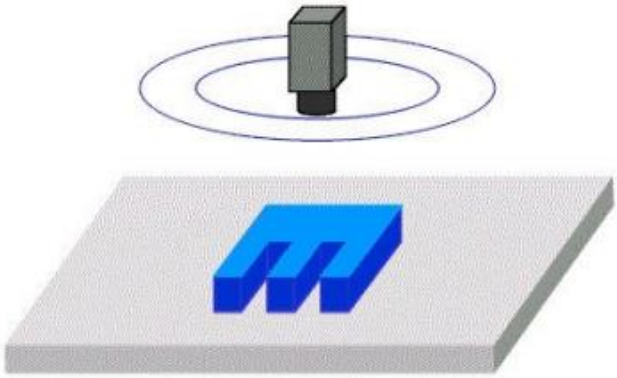
Tabla 4: Características del lente Fujinon.

FUJINON YV2.8X2.8SA-2 Varifocal		
		
Distancia focal		2.8-8 mm
Rango del iris		f 1.2-cerrado
Operación	Zoom	Manual
	Focus	Manual
	Iris	Manual
Angulo de visión (HxV)	Wide	73°45´x54°49´
	Tele	26°18´x19°44´
Dimensiones del objetivo(HXV)mm	Wide	530x256
	Tele	159x88
Montaje		CS
Masa(g)		50

Fuente: Autoría propia.

4.3.2 Sistema de iluminación. Para la construcción del sistema de iluminación se tuvieron en cuenta las diferentes teorías, como la analizada por el autor Bayrón Vergara en su investigación de tesis en la que explican la iluminación frontal la cual es muy usada en sistemas de iluminación consiste en iluminar perpendicularmente la pieza, sin embargo, este método debe utilizar un fondo que disminuya la aparición de brillo. (Vergara García, 2012)

Figura 33: Iluminación frontal



Fuente: Vergara Garcia, B. (2012). REALIZACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE IMAGEN UTILIZANDO IMAQ DE LABVIEW Y CÁMARA DE OBJETOS PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA.

Para disminuir el brillo en el objeto se utiliza un fondo opaco que no generará brillo, específicamente una lámina de material etilvinilacetato que es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno y acetato de vinilo, conocido también como goma EVA o foami.

Figura 34: Lamina de Foami.

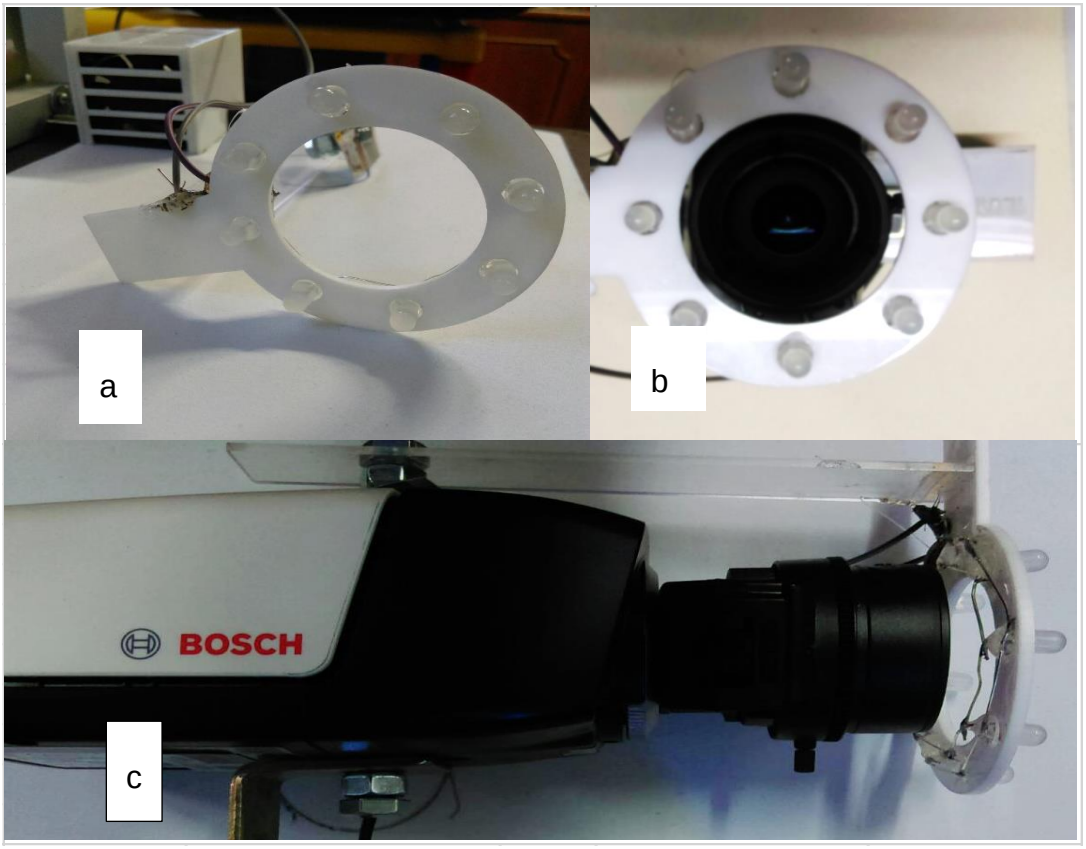


Autoría propia

Con relación a la forma y posición de la iluminación se tiene en cuenta el estudio desarrollado por Pfeifer y Wiegers en Alemania, en el experimentaron con un arco de luz generado por bombillos LEDS fijado alrededor del lente de la cámara para resaltar bordes en herramientas de corte así logrando obtener imágenes con una adecuada iluminación y uniformidad. (Pfeifer & Wiegers, 2000)

Para la medición del desgaste en plaquitas de corte se dispusieron de 8 diodos LEDS a 45° blancos en un anillo de diámetro interno 37 mm y externo 64 mm ubicado, concéntrico al eje del lente de la cámara y creando un campo de luz centrado y constante e incidiendo lo más perpendicular posible al objetivo, lo que permite la facilidad para contrastar los bordes.

Figura 35: a) Arco de LEDS, b) Ubicación del lente, c) Montaje iluminación.



Fuente: Autoría propia

Los diodos LEDS requieren para su funcionamiento 3 V y 200 mA cada uno, se conectan en paralelo son alimentados desde una fuente de 15 V a 2 A se estableció esta conveniente para el sistema, a razón de, que se utilizará el 70 % de su capacidad, atreves de un regulador el cual entrega la potencia final requerida, evitando así las caídas de tensión, al igual que, los picos en la corriente

garantizando de esta manera una iluminación uniforme. Previniendo que el LEDS aumenten su temperatura se adiciona una resistencia al regulador la cual, del mismo modo que, este disipa la energía en forma de calor, por esta razón, se refrigera por aire con un ventilador de circuitos eléctricos de dimensiones 40 mm x 40 mm

Figura 36: Componente del sistema de iluminación.



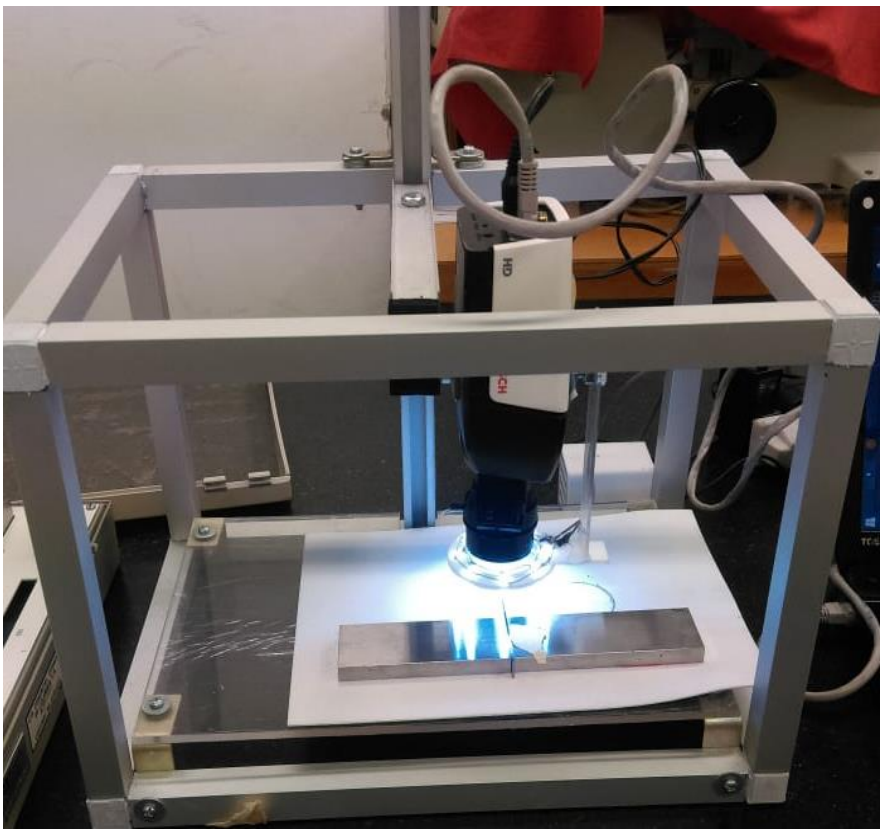
Fuente: Autoría propia

4.3.3 Soporte**.** En el diseño de la estructura se enfocó en permitir los mayores grados de libertad posibles en la sujeción de la cámara, ya que, esto permite una amplia posibilidad de posiciones en el instante de adquirir imágenes, se involucraron otros factores como dimensiones de la cámara, peso de la estructura, facilidad de montaje, al igual que, debe permitir incorporar el soporte de las plaquitas y el sistema de iluminación.

Por consiguiente, se realizó el diseño y la construcción de la estructura, se fabricó en perfil de aluminio, las dimensiones son 242 mm x 204 mm x 204 mm con un

perfil vertical para la variación de posición de la cámara en el eje Z de 450 mm de altura. Dispone de una lámina en acrílico para la ubicación de las plaquitas. Ver plano otras dimensiones en anexo B.

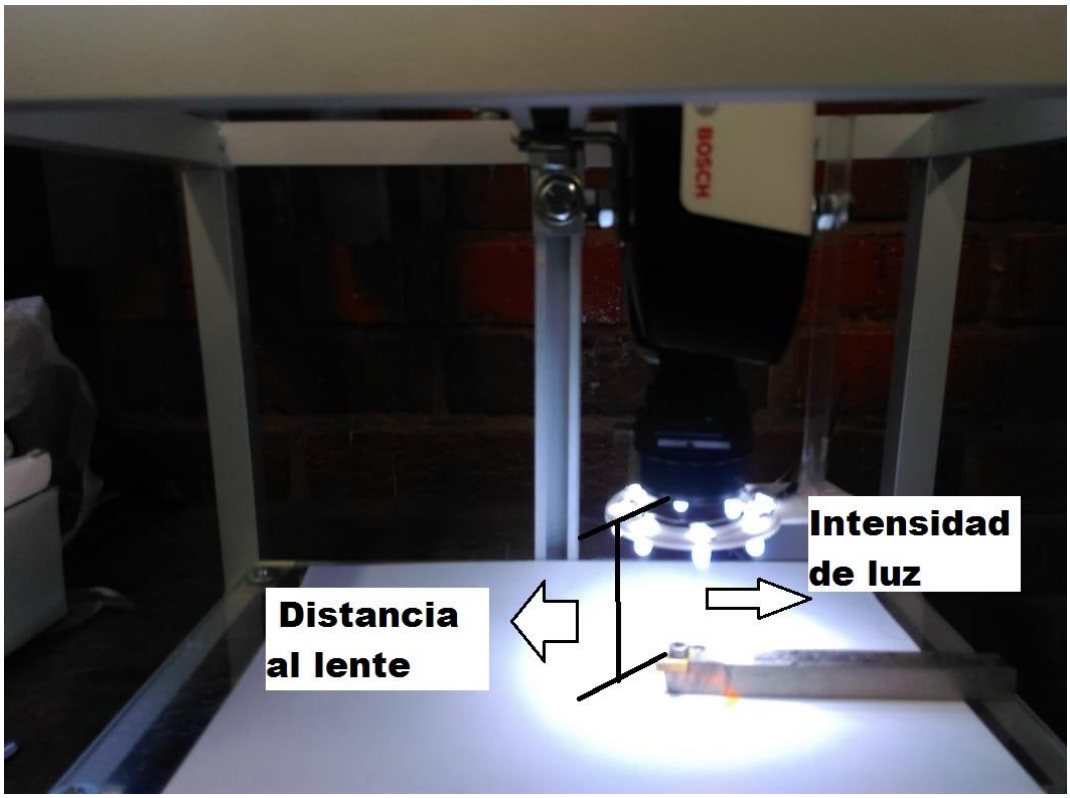
Figura 37: Soporte de la cámara, iluminación y plaquitas.



Fuente: Autoría propia

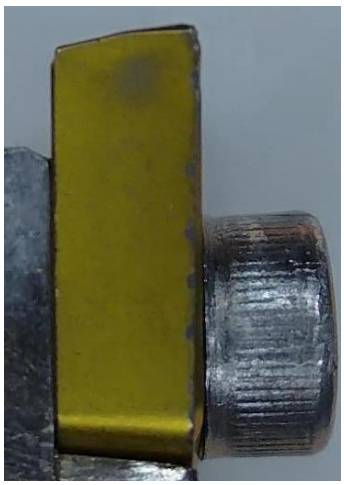
4.3.4 Montaje y ubicación de la cámara. Con el sistema de Sistema Visión UD preparado, se determina la altura correspondiente midiendo a que distancia del lente a la plaquita se obtiene un valor óptimo de iluminación mediante un luxómetro tipo HD 450 de la marca Extech® y una imagen nítida de la plaquita de corte.

Figura 38: Distancia e iluminación a medir.



Fuente: Autoría propia

Figura 39:a y b captura de las plaquitas en la cara de incidencia. c) captura en la cara de desprendimiento

a.  b.  c. 

Fuente: Autoría propia

Las imágenes anteriores se capturaron a una distancia de la herramienta al borde del lente de 30 mm con intensidad lumínica de 2033 lux.

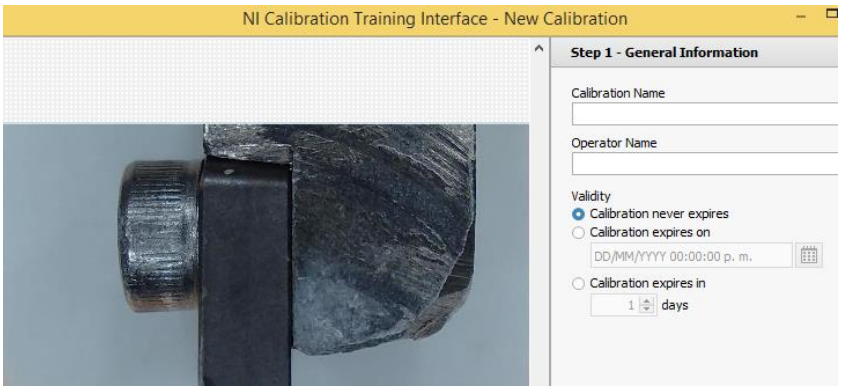
4.4 PROGRAMACIÓN Y CREACIÓN DEL SOFTWARE EN LABVIEW

4.4.1 Procesamiento de imágenes con *vision builder for automated inspection*. Permite el análisis de imágenes y generar resultados de inspección sin programación. Es un programa de aplicación ayuda a desarrollar rápidamente sistemas de inspección de visión artificial. Las herramientas de desarrollo guiadas por menú facilitan el procesamiento de imágenes. *(National Instruments*, 2019)

4.4.1.1 Calibración de imágenes mediante el software. Es importante realizar la calibración de las capturas a razón de que el lente y posición de la cámara presenta distorsiones. Esto hace referencia a las deformaciones que sufren los elementos presentes en una fotografía y se clasifican en dos tipos ópticas y de perspectiva.

Por lo que conlleva al algoritmo de visión a errores en las mediciones por este motivo se deben ajustar las imágenes, mediante el asistente de calibración del programa Figura (41).

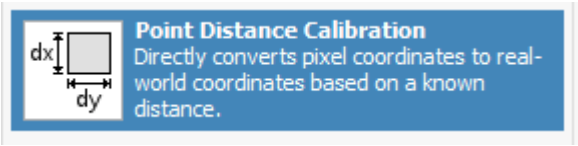
Figura 40: Asistente de calibración



Fuente: Autoría propia

Se utilizan puntos conocidos en la imagen para la calibración, debido a que se conocen las dimensiones de la plaquita se selecciona el ancho (S) que proporciona el fabricante, basado en esta distancia el programa calcula las distancias que se deseen conocer en la imagen.

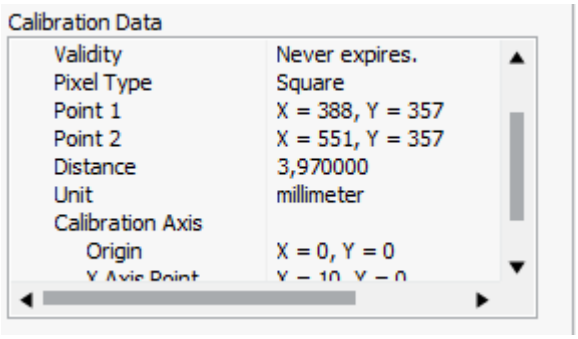
Figura 41: Herramienta de calibración.



Fuente: Autoría propia

Se obtiene como resultado de la calibración la equivalencia de los píxeles en unidades del sistema internacional (mm). En una imagen de resolución 1280 x 720 píxeles, 163 píxeles equivalen a 3,97 mm

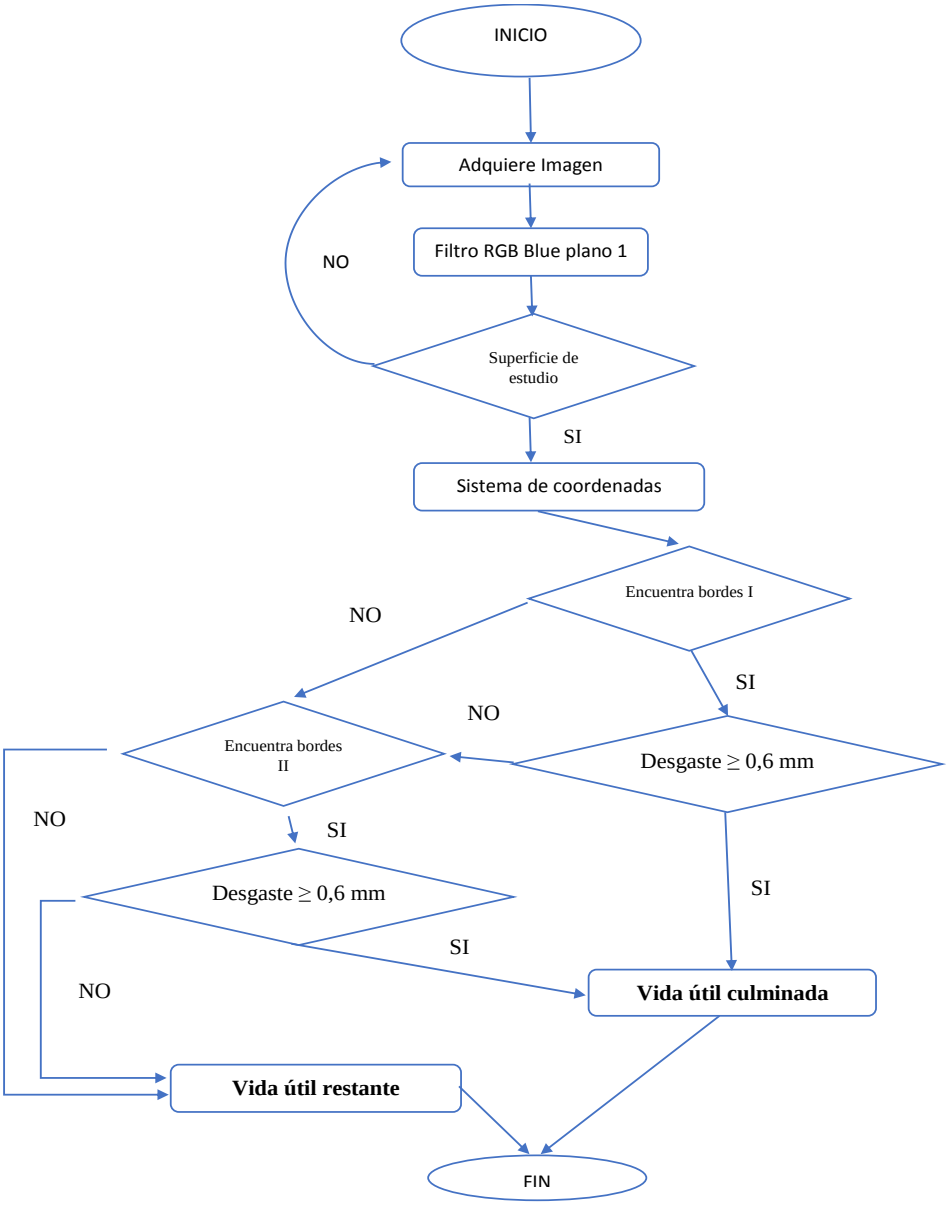
Figura 42: Resultado de la calibración.



Autoría propia

4.4.1.2 Creación del algoritmo medidor del desgate en placas de corte. El algoritmo permite determinar el desgaste de la placa de corte seleccionada en el estudio y determinar el estado de su vida útil de acuerdo con los criterios de desgaste contemplados en la norma ISO 3685.

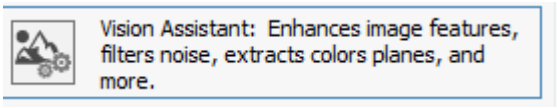
Figura 43: Diagrama de flujo del algoritmo.



Fuente: Autoría propia

El principal sustento de funcionamiento del algoritmo para medir el desgaste es el contraste, debido a esto se usa el filtro RGB para resaltar los flancos desgastados, por medio de la herramienta *Vision Assistant.*

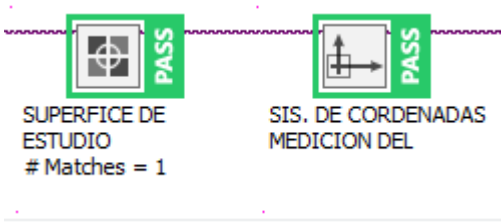
Figura 44: Herramienta para realizar el filtro en la imagen.



Autoría propia

Utilizando la herramienta de búsqueda de patrón se identifica la zona de estudio rotada (+,-) 360° lo que a su vez evita tener que realizar las capturas en una única posición (X, Y), se activa con el modelo un sistema de eje coordenado, el cual será la referencia en la medición de los flancos.

Figura 45: Herramientas para encontrar la zona de estudio en la imagen.

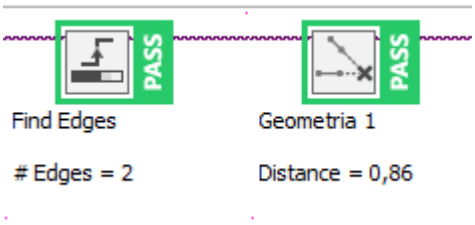


Fuente: Autoría propia

Después de la previa identificación y localización del flanco desgastado se utiliza herramienta de búsqueda de bordes, la cual se ubica justo en la punta de la herramienta sobre la cara de incidencia de la placa de corte, se encuentran y

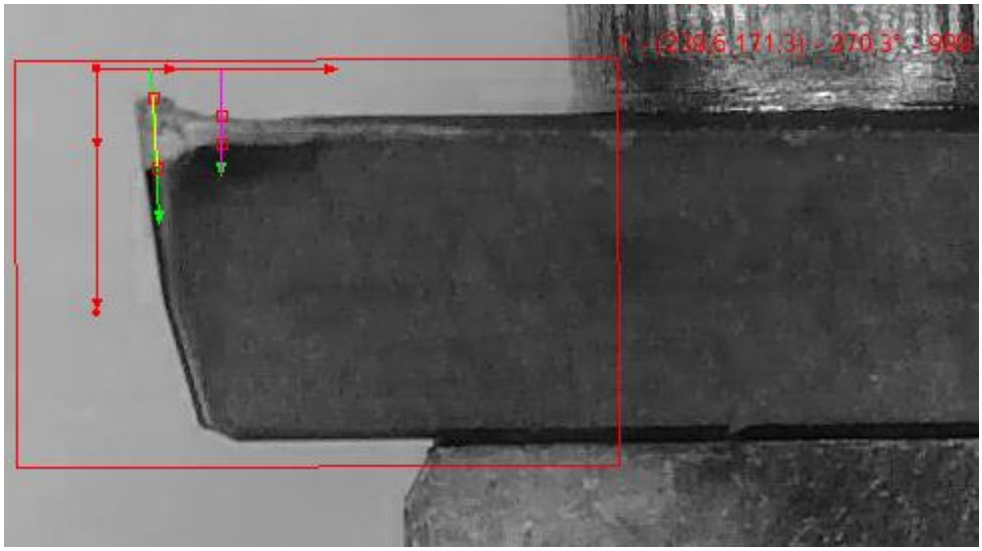
designan los puntos contrastados posterior a esto se mide la longitud entre ellos figura 47.

Figura 46: Herramientas utilizadas.



Fuente: Autoría propia

Figura 47: Representación de las herramientas utilizadas.

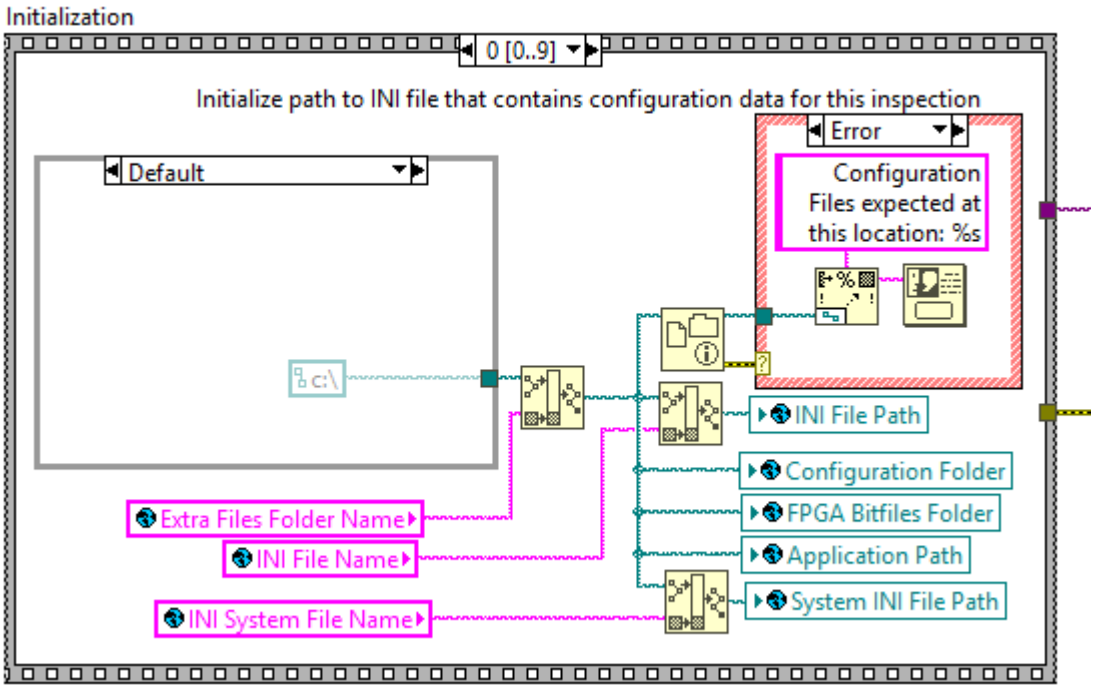


Fuente:Autoría propia

Con los pasos realizados se construyó el algoritmo necesario para el procesamiento de las imágenes y medición del desgaste, el cual es compatible con LABVIEW®, por lo que, se emigra la información a este software, se programa para la entrega de resultados los cuales se mostraran en una interfaz gráfica, también será posible diseñar un ejecutable del programa.

4.4.2 Bloques de programación en labview®

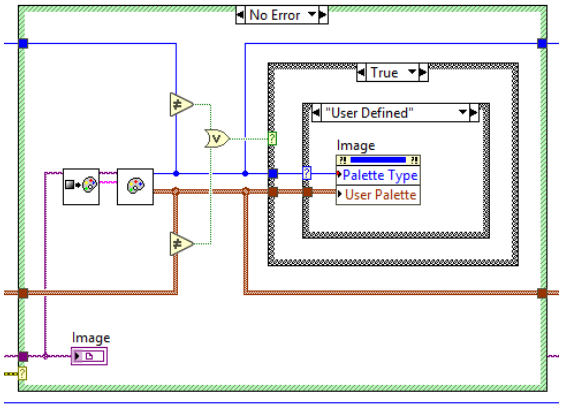
Figura 48: Diagrama de inspección en LABVIEW®



Fuente: Autoría propia

Esta es la parte inicial del algoritmo, en se adquiere la imagen desde una carpeta almacenada en el equipo o desde en un dispositivo de almacenamiento exterior.

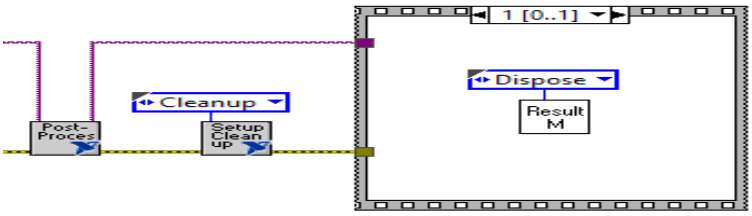
Figura 49: Diagrama de inspección en LABVIEW



Autoría propia

En la segunda sección del algoritmo se programa en función de las condiciones necesarias de inspección, se determina los pasos a seguir cuando un criterio no se cumple. Es en virtud el camino a seguir para el procesamiento de imágenes.

Figura 50: Diagrama de inspección en LABVIEW



Autoría propia

El paso final del algoritmo entrega de resultados, necesarios permite también su interacción y post proceso.

4.4.3 Interfaz del usuario

Figura 51: Interfaz del usuario con indicador de vida útil color verde.



Fuente: Autoría propia

4.5 PROTOCOLO DE INSTRUCCIONES PARA MEDIR EL DESGASTE, ENSAYOS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

4.5.1 Protocolo de instrucciones. El sistema de Visión UD es capaz de medir el desgaste en placas de corte y de objetos en 2D, por medio de un proceso como cualquier sistema de medición. Un proceso debe contar con instrucciones en las que se especifique la forma a proceder, para garantizar la confiabilidad y

repetitividad en los resultados. Por ello se construyó un protocolo de instrucciones, explicando los pasos necesarios para realizar medidas confiables en el nuevo sistema de medición.

En este se incluyó la instalación previa de controladores, se explica cómo realizar conexiones necesarias para la puesta en marcha del sistema y las instrucciones para medir. Ver protocolo de instrucciones en el Anexo C.

4.5.2 Diseño de experimentos para la validación de resultados

Primer experimento para la evaluación del sistema de medición.

Tal y como especifica el autor Douglas Montgomery en su libro “Diseño y análisis de experimentos” para analizar los componentes de variabilidad de un sistema, estadísticamente es apropiado utilizar un estudio de capacidad del instrumento de medición o estudio de repetitividad y reproductividad (R&R). La repetibilidad representa la variabilidad cuando el mismo operador mide la misma parte con el sistema de medición. La reproducibilidad se refiere a la variabilidad que se produce cuando diferentes operadores miden la misma parte.

Típicamente, las directrices para los estudios R&R de sistemas de medición recomiendan utilizar 10 partes, 2 o 3 operadores y 2 o 3 réplicas.

Nuestro experimento se compone de 10 piezas, tres operadores y 2 réplicas cada una de las tres personas, capturas las 10 imágenes aleatoriamente en dos instantes diferentes se realiza en el laboratorio de metrología de la facultad tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Con la herramienta de procesamiento de imagen y bajo los mismos criterios de medición utilizados para encontrar el desgaste, se registran las dimensiones del largo de las placas de corte. Los datos recolectados se pueden ver en el anexo C.

Figura 52: Plaquitas utilizadas en el experimento.



Fuente: Autoría propia

Con estos datos se realiza el estudio R&R del sistema, existen varios métodos para realizar el estudio, pero el método ANOVA es el más exacto para calcular la variabilidad dentro de un proceso. Con el programa Minitab® diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas se lleva acabo el análisis de datos.

Tabla 5: Componentes de la varianza Minitab (2019)

R&R del sistema de medición

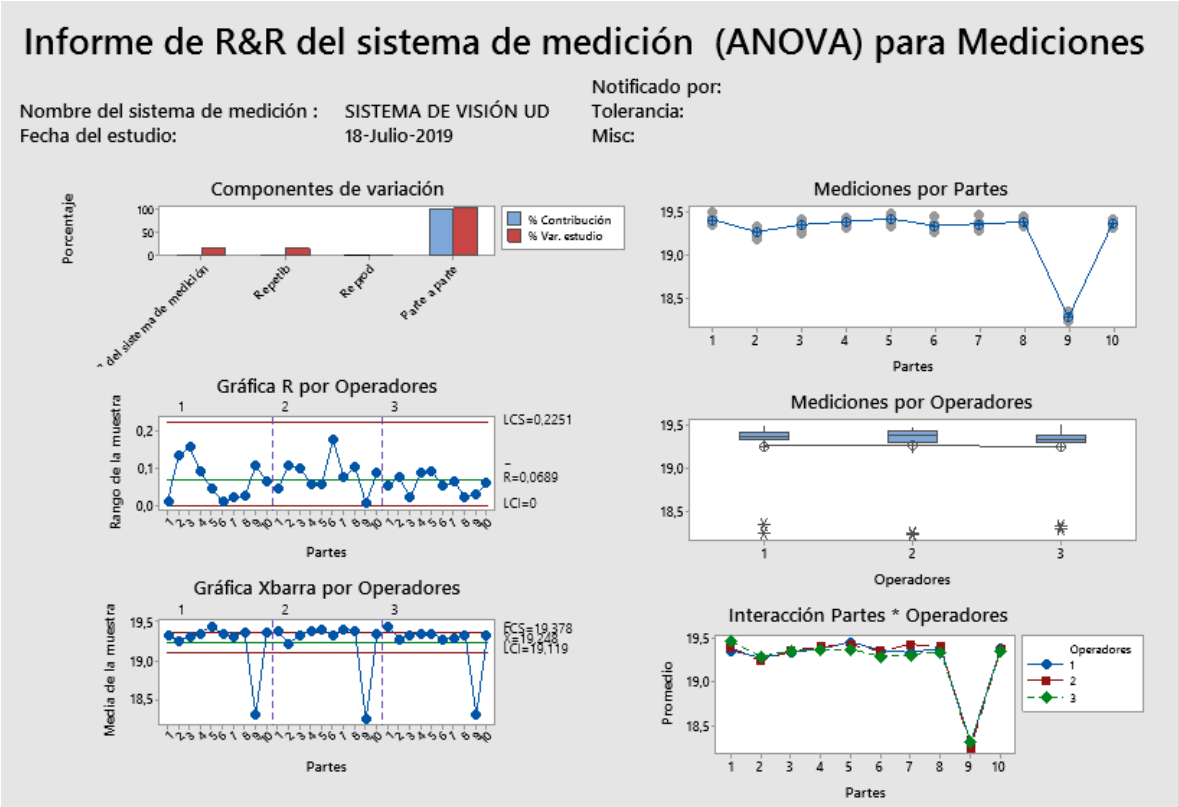
Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0,003101	2,63
Repetibilidad	0,003101	2,63
Reproducibilidad	0,000000	0,00
Operadores	0,000000	0,00
Parte a parte	0,114854	97,37
Variación total	0,117955	100,00

Fuente:Autoria proia

En este estudio se puede apreciar los componentes de variación del estudio se distribuyen en 2,63% como la variación causada por el sistema de medición y el 97,37% a las partes medidas, Esto indica que el sistema de medición se encuentra en un rango aceptable de variación según el artículo de interpretación de resultados de Minitab.

Figura 53: Resultados del estudio R&R realizado. Minitab (2019)



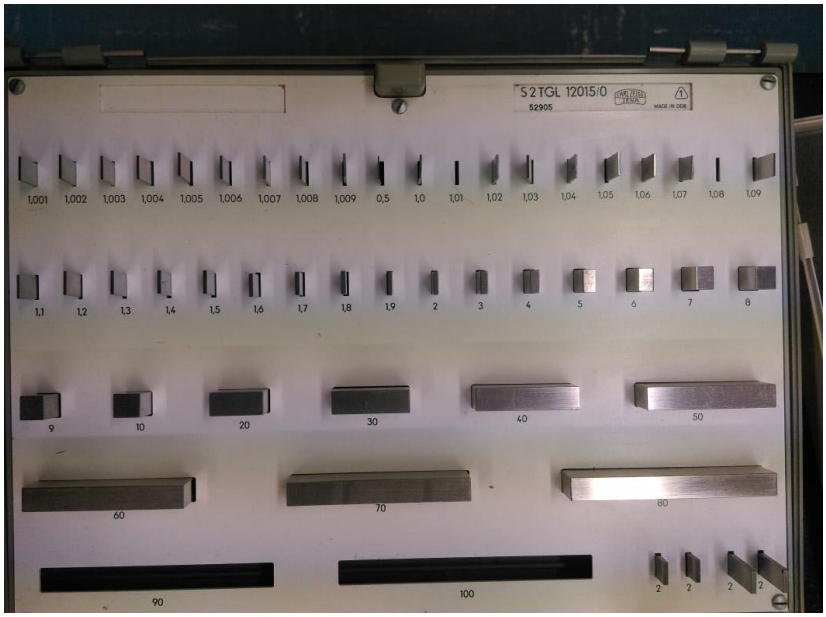
Fuente:Autoria proia

Los gráficos muestran cómo es la interacción parte a parte con el sistema y con el operador refleja un rango de variación mínimo en cada interacción y análisis estadístico.

El siguiente experimento llevado a cabo es el de exactitud, con el fin de determinar la dispersión en las mediciones. La exactitud se refiere a qué tan cerca están del valor real las mediciones de un sistema de medición.

Este se desarrolla en el laboratorio de metrología de la Universidad Nacional de Colombia, se emplearon bloques patrón referencia STGL 12015/0 de la marca Carl Zeiss de medidas estandarizadas, para la medición del desgaste en las plaquitas de corte es necesario una precisión de centésimas de milímetro en el valor de los resultados. Por lo que, se utilizaron bloques patrón con intervalo de una centésima de milímetro.

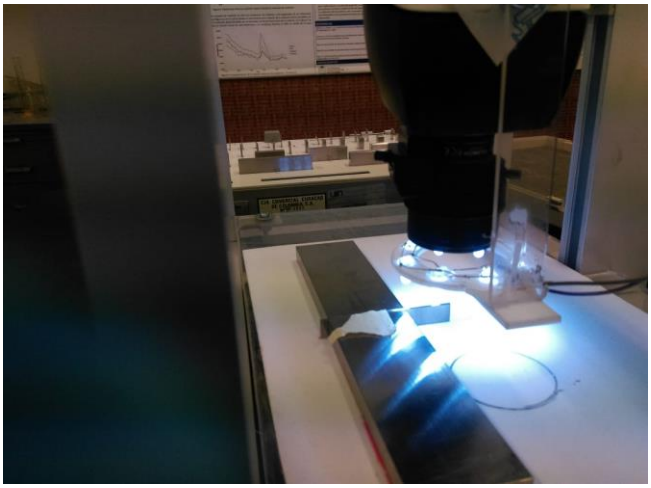
Figura 54:Kit bloques patrón marca Carl Zeiss



Fuente:Autoria proia

Se realizo la respectiva calibración con el bloque patrón de 1 mm.

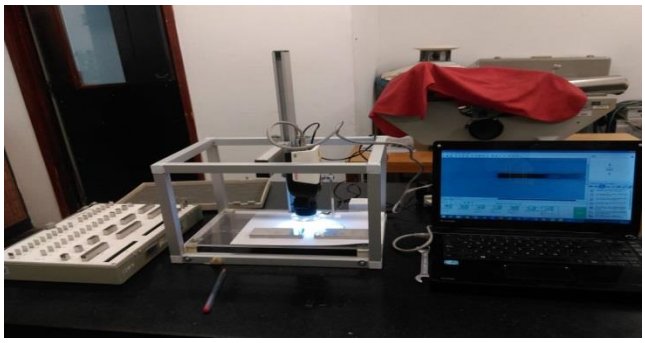
Figura 55:Posicion de los bloques patrón en el experimento.



Fuente: Autoría propia

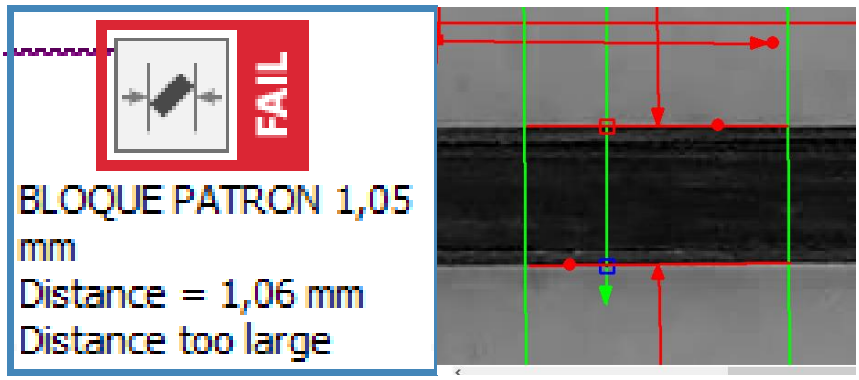
El montaje del sistema de medición se puso en marcha en la mesa de mármol de este laboratorio

Figura 56: Montaje del experimento en el laboratorio de Metrología de Universidad Nacional de Colombia.



Cada uno de los bloques patrón en el rango especificado se midió por sistema de visión artificial. Los datos obtenidos en el estudio indicaron que la máxima dispersión encontrada en los valores medidos es de 0,01 mm.

Figura 57:Indicador de la desviación en la medición.



Fuente: Autoría propia

4.6 PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

Para la ejecución de este proyecto implicó diferentes tipos de recursos entre ellos los principales son:

El recurso humano que esté compuesto por el tutor el cual es un profesor de planta de la Universidad Distrital - Francisco José de Caldas, encargado de guiar al ejecutor a lo largo del proyecto, el ejecutor es un estudiante activo de la facultad de tecnología el cual realizara las acciones pertinentes para culminar el trabajo. Cada uno de los recursos dispuso de horas de trabajo en el proyecto las cuales se especifican en la tabla.

Otro de los recursos más utilizado, y no menos importante fue el tecnológico los hardware usados, computador y cámara, para el desarrollo de pruebas. El software no fue menos importante, ya que es el fundamento de esta tesis. Para calcular el costo del recurso se tiene en cuenta las horas de uso generadas a lo largo del proyecto. Se originan otros gastos como materiales e insumos para la

fabricación del sistema de visión, consulta de artículos investigativos, entre otros. En la siguiente tabla se detallan los gastos incurridos para la ejecución del proyecto, especificando horas, su respectivo valor unitario y se especifica la fuente de financiación.

Tabla 6: Presupuesto y fuentes de financiación

Concepto	Horas-Uni	Costo/H -Unid	Costo Total	Fuente de Financiacion
Tutor	80 h	$ 40.000	$ 3.200.000	Universidad Distrital F.J.D.C
Ejecutor	300 h	$ 8.000	$ 2.400.000	Ejecutor
Libros	3 u	-	$ 900.000	Universidad Distrital F.J.D.C
Bases de datos	23 u	Articulos	$ 2.070.000	Universidad Distrital F.J.D.C
Paquete Microsoft office	80	$ 261	$ 20.880	Universidad Distrital F.J.D.C
Programa para el desarrollo del software	120	$ 10.000	$ 1.200.000	Universidad Distrital F.J.D.C
Hadware para adquision de imágenes	1u	Camara Digital	$ 2.000.000	Universidad Distrital F.J.D.C
Materiales para fabricacion del soporte e iluminacion	-	-	$ 200.000	Ejecutor
Placas de corte		-	$ 1.000.000	Director
Computador portatil	150	$ 700	$ 105.000	Ejecutor
Impresiones		-	$ 20.000	Ejecutor
papeleria		-	$ 20.000	Ejecutor
servicios publicos		-	$ 70.000	Universidad Distrital F.J.D.C-Ejecutor
Internet		-	$ 70.000	Universidad Distrital F.J.D.C-Ejecutor
	COSTO TOTAL		$ 13.275.880	

Fuente: Autoría propia

5 CONCLUSIONES

El sistema de medición por visión artificial puesto en marcha es capaz de medir el desgaste en plaquitas de corte, bajo los criterios de la norma ISO 3685 e ISO 8688 para plaquitas estandarizadas de torneado y fresado respectivamente.

La medición se logra mediante un método directo en un tiempo alrededor de los 200 ms, sin afectar la pieza a medir, esto es provechoso en la academia e industria, ya que, optimiza los procesos de mecanizo además no es necesario desmontar la plaquita del portaherramientas.

La metodología experimental planteada en este estudio permitió, llevar las mediciones a un escenario en el que se pudieran obtener resultados confiables gracias a la infraestructura de los laboratorios de metrología de la Universidad Distrital – Francisco José de Caldas y el Laboratorio de Metrología de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá D.C.

Según los objetivos planteados en este trabajo de grado los resultados que se pueden concluir son los siguientes:

- La documentación de las plaquitas estandarizadas es fundamental en el estudio del desgaste, de manera que las dimensiones indicadas se utilizan para efecto de la calibración y del desarrollo del software.
- Es viable aplicar la metodología propuesta para determinar el estado de las plaquitas, basándonos en el desgaste de los flancos localizados en la cara de incidencia, debido a que, la desviación en los resultados es del orden de las centésimas de milímetro.
- La implementación del sistema de visión indicó que es necesario una iluminación constante durante la captura de imágenes, para disminuir el ruido y la distorsión. Cabe resaltar, la importancia del fondo colocado en

foami, puesto que se evitó el brillo en las muestras, este conjunto de parámetros encontrados de importancia en la investigación permitió la entrega de resultados válidos.

- El software desarrollado facilita realizar una calibración, ésta se realiza con una dimensión conocida en la imagen. Este paso fue muy importante en el estudio, dado que, permitió únicamente ser necesario calibrar la imagen por movimientos en el eje Z de la cámara. facilitando así una libertad de 360° en ambos sentidos en el radio de foco comprendido por la cámara. También, cabe denotar que la interfaz generada permite una rápida visualización del estado de la herramienta.
- Con el fin de estandarizar el proceso de medición en la Facultad tecnológica de la Universidad Distrital y al usuario en general, se diseñó y puso a disposición un protocolo de instrucciones con el paso a paso para realizar las conexiones, montajes y mediciones.
- Los costos involucrados cumplieron a cabalidad con lo planeando, sin surgir gastos adicionales, lo que es muy importante para la industria y academia, ya que es un sistema económico y fácil de implementar en procesos de grande y pequeña escala.
- El nivel de confianza de los resultados es imprescindible teniendo en cuenta que el equipo desarrollado es un instrumento de medición para valores normalizados de rechazo dentro de los procesos industriales de mecanizado.

6 ALCANCE

Las conclusiones indicadas anteriormente son interesantes, porque estas generaron un impacto directamente en la Facultad tecnológica-Universidad Distrital Francisco José de Caldas, a su vez la investigación realizada es muy importante en la monitorización del estado de la herramienta en los procesos de mecanizado.

Los sistemas de visión artificial están siendo, grandes aliados de la industria 4.0 a nivel mundial por el mínimo tiempo implementado en la inspección, por su accesibilidad, bajo costo y una capacidad de trabajo muy alta, además, no presentan riesgo para la salud humana.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chethan, Y. D., Ravindra, H. V., gowda, Y. T., & Bharath Kumar, S. (2015). Machine Vision for Tool Status Monitoring in Turning Inconel 718 using Blob Analysis. In *Materials Today: Proceedings*. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.124

De Anda-Rodríguez, G., & Castillo-Castañeda, E. (2006). Un Método De Monitoreo Del Desgaste De Una Herramienta De Corte Basado En Un Sensor De Proximidad De Fibra Óptica a Method for Cutting Tool Wear Monitoring Based on an Optical Fiber Proximity Probe. *Ingeniare -Revista Chilena de Ingeniería*, *14*(2), 124–129.

Eduardo, C., Arroyave, L., Felipe, J., Montilla, M., Carlos, A., Piezas, D. D. E., … Sc, M. (2008). Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903837.

Kassim, A. A., Mian, Z., & Mannan, M. A. (2004). Connectivity oriented fast Hough transform for tool wear monitoring. *Pattern Recognition*, *37*(9), 1925–1933. https://doi.org/10.1016/J.PATCOG.2004.01.014

Kerr, D., Pengilley, J., & Garwood, R. (2006). Assessment and visualisation of machine tool wear using computer vision. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. https://doi.org/10.1007/s00170-004-2420-0

Lanzetta, M. (2001). A new flexible high-resolution vision sensor for tool condition monitoring. *Journal of Materials Processing Technology*, *119*(1–3), 73–82. https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)00878-0

Mikołajczyk, T., Nowicki, K., Bustillo, A., & Pimenov, D. Y. (2018). Predicting tool life in turning operations using neural networks and image processing. *Mechanical Systems and Signal Processing*. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.11.022

Mook, W. K., Shahabi, H. H., & Ratnam, M. M. (2009). Measurement of nose radius wear in turning tools from a single 2D image using machine vision. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. https://doi.org/10.1007/s00170-008-1712-1

Sortino, M. (2003). Application of statistical filtering for optical detection of tool wear. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *43*(5), 493–497. https://doi.org/10.1016/S0890-6955(02)00266-3

Vergara Garcia, B. (2012). Realización de un sistema scada para el control de imagen utilizando IMAQ de labview y cámara de objetos para el laboratorio de mecatrónica.

Castaños García, A. y, & Ballesté Torres, J. (2006). Desarrollo de un software de reconocimiento de imagen para los ensayos de EMC, 105. Retrieved from

http://www.researchgate.net/publication/39429829_Anlisis_de_aplicaciones_en_entornos_de_seguridad_y_emergencias_en_red_TETRA

David Alcañiz Martínez. (2013). La historia de la herramienta de corte | Blog SEAS. Retrieved March 26, 2019, from https://www.seas.es/blog/diseno_mecanico/la-historia-de-la-herramienta-de-corte/

International Standard Organization. (2017). International Standard Iso (1832). https://doi.org/10.1007/s11367-011-0297-3

Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de la Manufactura Moderna*.

Prado Teresa. (2015). *Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico* (Universidad de Vigo). Retrieved from http://www.investigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/516/Análisis_de_desgaste.pdf?sequence=1

Siddhpura, A., & Paurobally, R. (2013). A review of flank wear prediction methods for tool condition monitoring in a turning process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *65*(1–4), 371–393. https://doi.org/10.1007/s00170-012-4177-1