

# **CONTROL DE PRESIÓN USANDO VISION ARTIFICIAL A TRAVÉS DE UN Procesador Digital de Señales DSP**

**Jorge Eduardo Linares Restrepo  
Lauren juliana Galvis Aristizabal**

**Universidad Tecnológica de Pereira  
Faculta de tecnología  
Programa de Ingeniería Mecatrónica  
Pereira  
17-Mayo-2017**

**CONTROL DE PRESIÓN USANDO VISION ARTIFICIAL A TRAVÉS DE UN  
Procesador Digital de Señales DSP**

**Jorge Eduardo Linares Restrepo  
Lauren Juliana Galvis Aristizabal**

**Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Mecatrónica**

**Director  
M.Cs. Hernán Alberto Quintero Vallejo**

**Universidad Tecnológica de Pereira  
Faculta de tecnologías  
Programa de Ingeniería Mecatrónica  
Pereira  
17-Mayo-2017**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
CONTROL DE PRESIÓN USANDO VISION ARTIFICIAL A TRAVÉS DE UN Procesador Digital de Señales DSP .....	1
CONTROL DE PRESIÓN USANDO VISION ARTIFICIAL A TRAVÉS DE UN Procesador Digital de Señales DSP .....	2
Índice de Figuras .....	5
RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
1. PRELIMINARES.....	8
1.1 Definición del problema.....	8
1.1.1 Planteamiento.....	8
1.1.2 Formulación.....	8
1.1.3 Sistematización.....	8
1.2 Justificación.....	9
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 General.....	10
1.3.2 Específicos.....	10
1.4 Marco de Antecedentes.....	11
1.4.1 La Revolución Industrial:.....	11
1.4.2 La Segunda Revolución Industrial:.....	11
1.4.3 La Tercera Revolución Industrial:.....	11
2. SISTEMAS DE CONTROL.....	13
2.1.1 Control en lazo abierto (no retroalimentado).....	13
2.1.2 Control en lazo cerrado (retroalimentado).....	14
3. MEDIDORES DE PRESIÓN: MANÓMETRO.....	16
3.1 Manómetro de Bourdon.....	16
4. INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	17
4.1. El Enfoque de la Prueba de TURING.....	18
4.2 Visión Artificial.....	19
4.2.1 Visión Humana y Visión Artificial (ANALOGIA).....	21
4.2.2 Visión Artificial Aplicada a la Industria.....	22
5. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.....	23
6. PROCESADOR DIGITAL DE SEÑALES DSP-BF533.....	25

6.1	Procesador Digital de Señales ADSP-BF533.....	26
6.2	Arquitectura del procesador ADSP-BF533.....	28
6.2.1	Bloques Computacionales – DSP CORE.....	28
6.2.2	Memoria.....	29
6.2.3	Dynamic Power Management.....	29
6.3	Implementación de algoritmos en el entorno Visual DSP++.....	30
6.3.1	Captura de imágenes en VisualDSP++. .....	32
7.	Resultados.....	36
7.1	Descripción General .....	36
	Captura de Imágenes .....	36
	Pre-Procesamiento .....	36
	Segmentación.....	36
	Descripción .....	36
	Reconocimiento .....	36
	Interpretación.....	36
7.2	Diagrama del Sistema .....	37
7.3	IMPLEMENTACION DE ALGORITMOS BASICOS .....	38
7.3.1	CAPTURA DE IMÁGENES.....	38
7.3.2	PRE-PROCESAMIENTO .....	39
7.3.3	CAPAS RGB O MATRIZ BAYER .....	39
7.3.4	REALCE .....	41
7.3.5	FILTROS ESPACIALES.....	42
7.3.6	CONVOLUCION.....	45
7.3.7	SEGMENTACION .....	47
7.3.8	DESCRIPCION Y RECONOCIMIENTO .....	48
7.3.9	INTERPRETACION.....	49
8.	ESTRUCTURA DEL SISTEMA.....	50
9.	CONCLUSIONES .....	52
	BIBLIOGRAFIA.....	53

## Índice de Figuras

**Figura 1.0 Representación de un sistema de control en lazo abierto**

**Figura 1.1 Representación de un sistema de control en lazo cerrado.**

**Figura 2.1 Algunas definiciones de inteligencia artificial, organizadas en cuatro categorías.**

**Figura 2.2 Algunas definiciones de inteligencia artificial, organizadas en cuatro categorías.**

**Figura 2.3 Secciones del ojo humano.**

**Figura 3.1 Diagrama de la estructura del sistema de control.**

**Figura 6.1 Entorno de Desarrollo Visual DSP++.**

**Figura 6.2. Proyecto BF533\_EZ\_KIT\_Video\_Receive\_C.dpj.**

**Figura 6.3. Carga de programa a la tarjeta.**

**Figura 6.4. Conector AVINI JACK.**

**Figura 6.5. Compilación del Programa.**

**Figura 6.6. Visualización de Imágenes.**

**Figura 7.1 Imagen de un Segmento del video.**

**Figura 7.2 Asignación de colores de cada celda.**

**Figura 7.3 Conversión a los colores reales de la imagen.**

**Figura 7.4 Capas RGB.**

**Figura 7.5 Resalte en cada capa RGB.**

**Figura 7.6 Resalte en cada capa RGB.**

**Figura 7.7 Apertura y Cierre.**

**Figura 7.8 Convolución.**

**Figura 7.9 Mascara sobre puesta a la imagen original.**

**Figura 7.10 Indicador del manómetro.**

**Figura 7.11 Valor de la presión de acuerdo a la orientación del indicador.**

## RESUMEN

El siguiente proyecto ilustra el diseño de un sistema de control de presión por medio de visión artificial, centrandó el proyecto en el desarrollo de un algoritmo capaz de realizar este proceso en tiempo real y con una alta confiabilidad, para esto se inició con la implementación del software MATLAB el cual cuenta con toolbox especializados en el procesamiento de imágenes lo cual facilita el análisis y la implementación del sistema.

Luego de la implementación en MATLAB se realizó el análisis para llevar el sistema al procesador digital de señales (DSP) ADSP-BF533 del cual se muestra un resumen de su estructura (hardware y software), en este se pueden apreciar las altas prestaciones de la DSP y la viabilidad para el desarrollo de este diseño.

## INTRODUCCIÓN

Desde la revolución industrial el control de la presión empezó a tomar un papel importante en la calidad y seguridad de los procesos, esto conllevó a desarrollar e implementar diferentes sistemas que facilitaran una medición precisa y confiable; Con el paso del tiempo los instrumentos de medición tuvieron una evolución constante que permitieron ampliarse en varias áreas donde era necesario un control de procesos que se requieren para lograr los mejores resultados en la utilización de recursos, maquinas, rentabilidad y la protección del medio ambiente entre otros.

Los manómetros son instrumentos utilizados para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local; En la ingeniería la presión se define como una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una línea; los manómetros más tienen un elemento que cambia alguna propiedad cuando son sometidos a la presión, este cambio se manifiesta en una escala o pantalla calibrada directamente en las unidades de presión correspondientes las cuales normalmente son supervisadas directamente en su lugar de ubicación, esto presenta muchas desventajas frente a las nuevas tecnologías que requieren un mecanismo de control y supervisión autónomo con altos grados de confiabilidad para la calidad y seguridad en la industria.

En este proyecto se pretende ilustrar el diseño de un nuevo sistema que pueda implementar nuevas tecnologías que mejoren los procesos y generen una automatización en tareas habituales como la supervisión directa de los manómetros, utilizando un dispositivo de alto procesamiento y rendimiento en el análisis de imágenes como lo son los DSP, este puede llevar a cabo diferentes procesos al mismo tiempo de manera eficaz y confiable por medio de la inteligencia artificial.

# 1. PRELIMINARES

## 1.1 Definición del problema

### 1.1.1 Planteamiento

En las industrias el manejo de procesos de control sin un sistema autónomo presenta una desventaja frente a las nuevas tecnologías que ofrecen un nivel de producción mayor y con mejores niveles de calidad.

En la actualidad los sistemas de control de presión se basan en transmisores de señales que envían mediciones de presión o de diferencias de presión por medio de dispositivos neumáticos o electrónicos los cuales tienen que ser supervisados directamente en el punto de la medición que pueden llegar a estar en lugares de difícil acceso o muy alejados del punto de control.

### 1.1.2 Formulación

¿Es posible y viable, diseñar un sistema de control de presión por medio de la visión artificial?

### 1.1.3 Sistematización

¿Cuál puede ser el lenguaje de programación más adecuado para el desarrollo de la programación de la tarjeta DSP?

¿Qué tipo de cámara digital es la más apropiada para capturar las imágenes del medidor de presión?

¿Qué parámetros físicos pueden alterar las imágenes tomadas por la cámara digital?

¿Cuál será la frecuencia de muestreo apropiada para la captura y el análisis digital de las imágenes?

¿Qué tipo de filtros se le deben aplicar a las imágenes para obtener la información deseada?

## 1.2 Justificación

La globalización del mercado es un nuevo reto para la industria y la automatización representa una alternativa para enfrentar este reto ya que por medio de esta se puede reducir costos de producción, eliminando trabajos que requieren supervisión o intervención directa de un alto número de personal, además por medio de la automatización se pretende lograr aumentar la productividad, mejorar la calidad de un producto, aumentar la seguridad laboral y mejorar los diagnósticos en la industria.

Debido a esto se presenta un sistema que pretende aprovechar las ventajas de la automatización industrial con todas sus mejoras usando métodos de alta tecnología como la visión artificial que día a día podemos ver su acogida en la industria de la metrología.

La visión artificial es un campo de la inteligencia artificial que tiene como propósito obtener, procesar y analizar cualquier característica de una imagen digital.

Con la visión artificial podemos automatizar trabajos de supervisión en lugares lejanos o de difícil acceso para personal humano y así tener una mayor seguridad del correcto funcionamiento de los dispositivos a supervisar ya que por medio de una cámara se puede enviar imágenes en tiempo real del proceso que se está ejecutando y así aplicar procesos de control automáticos o manuales aplicados por un operador a distancia.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 General**

Diseñar un sistema de control de presión por medio de visión artificial usando una DSP.

### **1.3.2 Específicos**

- Determinar cuál es el lenguaje de programación más adecuado para el desarrollo de la programación de la DSP.
- Identificar cuáles pueden ser los posibles métodos de transmisión de datos para el respectivo análisis y control.
- Determinar las características del instrumento a supervisar.
- Investigar las normas existentes que apliquen en los sistemas de control de presión.

## 1.4 Marco de Antecedentes

La automatización inicio con la revolución industrial en la segunda mitad del siglo XVII en Gran Bretaña y se extendió unas décadas después hasta una buena parte de Europa occidental y Estados Unidos, finalizando hacia 1820 o 1840. Durante este periodo se vivió el mayor conjunto de transformaciones económicas, tecnológicas y sociales de la historia de la humanidad desde el neolítico<sup>1</sup>.

La revolución industrial se ha dividido en tres etapas principales como son:

**1.4.1 La Revolución Industrial:** Inicia en la segunda mitad del siglo XVII en Gran Bretaña y finalizo hacia 1820 o 1840, se caracteriza por el mayor desarrollo de tecnologías y una gran trasformación económica y social, en esta época se desarrollan diferentes mecanismos de control que permiten a la industria textil automatizar gran parte de sus procesos, Su principal desarrollo tecnológico es la invención de la máquina de vapor.

**1.4.2 La Segunda Revolución Industrial:** Su comienzo suele fijarse entre 1850 y 1870.

Y finaliza hacia 1914, de la Segunda Revolución Industrial (Rey O., 2009) nos menciona que:

“Se caracteriza por profundos cambios económicos en el mundo, pasando de economías predominantemente agrarias a economías de consumo y producción masiva de bienes. Son característicos de esta época, la invención del motor de combustión interna, fuentes de energía y la masificación el auge de la electricidad entre otras nuevas fuentes de energía y la masificación de las comunicaciones”.

**1.4.3 La Tercera Revolución Industrial:** La conjunción de la tecnología de comunicación de Internet y las energías renovables en el siglo XXI, está dando lugar a la llamada Tercera Revolución Industrial.<sup>2</sup> Para esta etapa (Rey O., 2009) nos dice que:

---

<sup>1</sup> “Revolución Industrial” [http://es.wikipedia.org/wiki/Revoluci%C3%B3n\\_Industrial#cite\\_note-1](http://es.wikipedia.org/wiki/Revoluci%C3%B3n_Industrial#cite_note-1)  
(Consultado el 01 de Mayo del 2014)

<sup>2</sup> “Tercera revolución Industrial” [http://es.wikipedia.org/wiki/Tercera\\_revoluci%C3%B3n\\_industrial](http://es.wikipedia.org/wiki/Tercera_revoluci%C3%B3n_industrial)  
(Consultado el 01 de Mayo del 2014)

“Se le denomina la “Revolución de la Inteligencia” y se caracteriza por un vertiginoso cambio en el estado del arte, donde se estima que el conocimiento se duplica cada cinco años. En este panorama la automatización no se queda relegada y es en este periodo en el que se dan los principales desarrollos, pasando de la lógica cableada y el uso de relevos y contactares, para el control de procesos industriales, a las modernas técnicas de control que incluyen el uso controladores lógicos programables (PLC), controladores analógicos programables (PAC), el uso de la inteligencia artificial”.

## 2. SISTEMAS DE CONTROL

De los sistemas de control (Ogata, Ingeniería de Control Modero, 1998) nos dice que:

“El control automático se ha vuelto una parte importante e integral de los procesos modernos industriales y de manufactura. Por ejemplo el control automático es esencial en el control numérico de las maquinas-herramientas de las industrias de manufactura, en el diseño de sistemas de pilotos automáticos en la industria aeroespacial y en el diseño de automóviles y camiones en la industria automotriz. También es esencial en las operaciones industriales como el control de presión, temperatura, humedad, viscosidad y flujo en las industrias de procesos.

Debido a que los avances en la teoría y la práctica del control automático aportan los medios para obtener un desempeño óptimo de los sistemas dinámicos, mejorar la productividad, aligerar la carga de muchas operaciones manuales repetitivas y rutinarias así como de otras actividades”.

La teoría de control es un campo de la ingeniería que mediante el uso de modelos matemáticos puede observar y controlar el comportamiento de sistemas dinámicos.

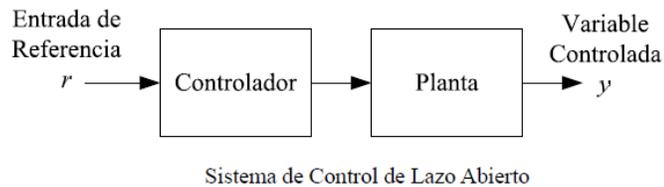
Los sistemas de control pueden dividirse en dos ramas principales como son:

Control en lazo abierto (open loop) y control en lazo cerrado (close loop), están se pueden distinguir por medio de la acción de control, que es la que activa el sistema para producir la salida.

### 2.1.1 Control en lazo abierto (no retroalimentado)

Los sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de control son denominados como control no retroalimentado, en estos sistemas no se mide la salida ya que no es necesaria la retroalimentación para compararla con la salida, es por esto que su efectividad depende de una correcta calibración.

Para este tipo de controladores es necesario conocer la relación entre las entradas y las salidas, además de esto el sistema no debe de tener perturbaciones que puedan afectar el comportamiento del mismo.



**Figura 1.0 Representación de un sistema de control en lazo abierto**

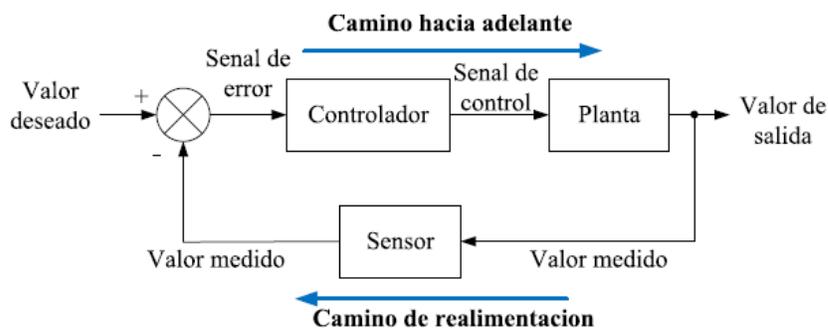
Este tipo de sistemas presenta algunas características generales como:

- Por cada entrada de referencia, se encuentra una condición de operación fija.
- Si se presentan perturbaciones en el sistema sean internas o externas este no realiza la tarea deseada con precisión.
- Solo se usa si se conoce la relación entre las entradas y salidas.
- Opera con base de tiempo.
- La estabilidad del sistema no es un problema además es fácil de lograr.
- Se pueden usar componentes relativamente precisos y de bajos costos para un controlador adecuado.

### 2.1.2 Control en lazo cerrado (retroalimentado)

En estos sistemas de control se miden las señales de salida, estas medidas son comparadas con las señales de entrada de referencia para así obtener la diferencia entre estas, a esta diferencia se le conoce como señal de error la cual es detectada por el controlador el cual se encarga de generar una acción de control en los actuadores con el fin que la señal de error sea compensada y esta tienda a cero.

Según (Ogata, 1998). “es un sistema que mantiene una relación prescrita entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado”.



**Figura 1.1 Representación de un sistema de control en lazo cerrado.**

Las características generales de este sistema son:

- La estabilidad de estos sistemas es una función principal.
- Son aplicables en sistemas que presentas perturbaciones externas o internas.
- Para la implementación de estos sistemas es necesario el uso de componentes precisos y de alto costo.

### **3. MEDIDORES DE PRESIÓN: MANÓMETRO**

El manómetro es un instrumento de medición de presión que ha desarrollado un papel importante a lo largo de 6 siglos desde su primera idea, mencionada por primera vez por el físico alemán Otto von Guericke (1602-1686), y un primer modelo específico fue probablemente empleado por el naturalista geólogo suizo Horace Bénédict de saussure (1740-1799). Después de esto, múltiples investigaciones y diversas modificaciones se han venido presentando en el manómetro hasta llegar a lo que es hoy en día en sus diferentes variantes. Su principal aporte ha sido en la industria y de la gran variedad existente el más utilizado es el manómetro de Bourdon, aunque es necesario tener presente el intervalo de presiones en el que se trabaja y la exactitud que se requiera.

#### **3.1 Manómetro de Bourdon**

Presenta un principio de funcionamiento o de medición en base al sensor que presenta conocido como tubo de Bourdon. Su sistema de medida está formado por un tubo aplanado de bronce o acero, en forma de "C" de  $\frac{3}{4}$  de circunferencia para la medición de bajas presiones y que tiende a enderezarse proporcionalmente al aumento de la presión, este movimiento se transmite por medio de un elemento transmisor y multiplicador que mueve la aguja indicadora sobre una escala graduada. La forma, el material y el espesor de las paredes dependen de la presión que se quiera medir.

## 4. INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Inteligencia Artificial o IA es una rama de la ciencia que se encarga del estudio y la aplicación de la inteligencia en elementos artificiales, no obstante por su amplio campo de aplicación en las diferentes ramas que abarca no se ha conseguido definir en una única síntesis que es inteligencia artificial, sin embargo una idea vaga se había considerado durante años al tratar de entender como un puñado de materia puede entender, predecir y manipular un mundo exterior más grande que ella misma<sup>3</sup>. Partiendo de esto y en base a el cuestionamiento de "¿Como pensamos?", el campo de la IA se ha abierto paso en el transcurso del tiempo y hoy en día va más allá e intenta no solo comprender, si no también se esfuerza en construir entidades inteligentes.

El apelativo de Inteligencia Artificial (IA) no fue acuñado sino hasta 1956 debido a John McCarthy, siendo uno de los miembros del "Group de Dartmouth", cuando empezaron a discutir la posibilidad de construir maquinas que pudieran hacer operaciones inteligentes. Aun así el origen inmediato del concepto y criterios de desarrollo de la IA tomaron forma gracias al matemático alemán Alan Turin, quien hizo una gran contribución al mundo de la computación en general, y al de la IA en particular.

La IA se ha basado en cuatro enfoques (Figura 1) donde la parte superior alude a los procesos mentales y el razonamiento, mientras que la parte inferior aluden a la conducta. Así mismo las definiciones de la izquierda miden el éxito en términos de la fidelidad en la forma de actuar de los humanos, mientras que las de la derecha toman como referencia un concepto ideal de inteligencia, que se llamara racionalidad, donde un sistema es racional si hace "lo correcto", en función de su conocimiento.

---

<sup>3</sup> <http://fmachado.dei.uc.pt/wp-content/papercite-data/pdf/ms07.pdf>

Sistemas que piensan como humanos	Sistemas que piensan racionalmente
<p>«El nuevo y excitante esfuerzo de hacer que los computadores piensen... máquinas con mentes, en el más amplio sentido literal». (Haugeland, 1985)</p> <p>«[La automatización de] actividades que vinculamos con procesos de pensamiento humano, actividades como la toma de decisiones, resolución de problemas, aprendizaje...» (Bellman, 1978)</p>	<p>«El estudio de las facultades mentales mediante el uso de modelos computacionales». (Charniak y McDermott, 1985)</p> <p>«El estudio de los cálculos que hacen posible percibir, razonar y actuar». (Winston, 1992)</p>
Sistemas que actúan como humanos	Sistemas que actúan racionalmente
<p>«El arte de desarrollar máquinas con capacidad para realizar funciones que cuando son realizadas por personas requieren de inteligencia». (Kurzweil, 1990)</p> <p>«El estudio de cómo lograr que los computadores realicen tareas que, por el momento, los humanos hacen mejor». (Rich y Knight, 1991)</p>	<p>«La Inteligencia Computacional es el estudio del diseño de agentes inteligentes». (Poole <i>et al.</i>, 1998)</p> <p>«IA... está relacionada con conductas inteligentes en artefactos». (Nilsson, 1998)</p>

Figura 2.1 Algunas definiciones de inteligencia artificial, organizadas en cuatro categorías.

#### 4.1. El Enfoque de la Prueba de TURING

¿Pueden las máquinas pensar? Fue una de las preguntas que se hace Alan Turing en su libro "Computer Machinery and Intelligence" donde el autor intenta abordar formalmente acciones consideradas hasta ese momento propias del ser humano<sup>4</sup>.

La **Prueba de Turing** fue propuesta en 1950 por el mismo Alan Turing con el fin de proporcionar una definición operacional y satisfactoria de inteligencia en base a la incapacidad de diferenciar entidades inteligentes y seres humanos por medio de un test. El test es satisfactorio cuando el evaluador, quien se comunica por medio de dos terminales conectados a una máquina y a un ser humano respectivamente, no pueda diferenciar las respuestas, tanto de la maquina como del humano, a una seria de preguntas realizadas. Esta sencilla prueba reemplazaba la tediosa labor

4

[http://iarp.cic.ipn.mx/~hcalvo/Inteligencia\\_Artificial\\_files/Inteligencia%20Artificial,%20Un%20Enfoque%20Moderno%20-%20Stuart%20J.%20Russell,%20Peter%20Norvig%20-%20Prentice%20Hall%20\(ocr,%20caps%201-11\).pdf](http://iarp.cic.ipn.mx/~hcalvo/Inteligencia_Artificial_files/Inteligencia%20Artificial,%20Un%20Enfoque%20Moderno%20-%20Stuart%20J.%20Russell,%20Peter%20Norvig%20-%20Prentice%20Hall%20(ocr,%20caps%201-11).pdf)

de realizar una lista larga y quizá controvertida de cualidades necesarias para obtener inteligencia artificialmente.

Hoy por hoy y después de 60 años de vigencia, esta prueba sigue siendo el pilar para la programación computacional y podemos decir que superarla requiere de un trabajo considerable. En base a ella se consideran seis disciplinas que una maquina deba tener y que abarcan la mayor parte de la IA. A continuación detallaremos cada una de ellas:

- **Procesamiento de lenguaje natural:** Que le permita comunicarse satisfactoriamente en un lenguaje entendible por los humanos.
- **Representación del conocimiento:** para almacenar lo que se conoce o se siente.
- **Razonamiento automático:** para utilizar la información almacenada para responder a preguntas y extraer nuevas conclusiones.
- **Aprendizaje automático:** para adaptarse a nuevas circunstancias y para detectar y extrapolar patrones.
- **Visión computacional:** para percibir objetos.
- **Robótica:** para manipular y mover objetos.
- 

En un inicio la Prueba de Turing evito deliberadamente la interacción física (Vision computacional y Robotica) directa entre el evaluador y el computador ya que para medir la inteligencia es innecesario simular físicamente a una persona. Sin embargo, se realiza la llamada Prueba Global de Turing la cual incluye una señal de video que permite evaluar la capacidad de percepción, y también permite al computador pasar objetos físicos “A través de una ventanita”. Estas dos últimas disciplinas completan el enfoque básico de la IA y de ahí se empiezan a desprender sus diversos campos de aplicación.

## 4.2 Visión Artificial

El mundo científico sustenta la mayor parte de sus inicios en el cuestionamiento acerca de la naturaleza y en gran medida en el funcionamiento y comportamiento del ser humano. La visión artificial nace de este mismo cuestionamiento, de cómo funciona uno de los sentidos más importantes de los seres humanos, la visión. Esta es empleada para obtener información visual del entorno físico y de hecho se calcula que el 70% de las tareas del cerebro son dirigidas al análisis de estos

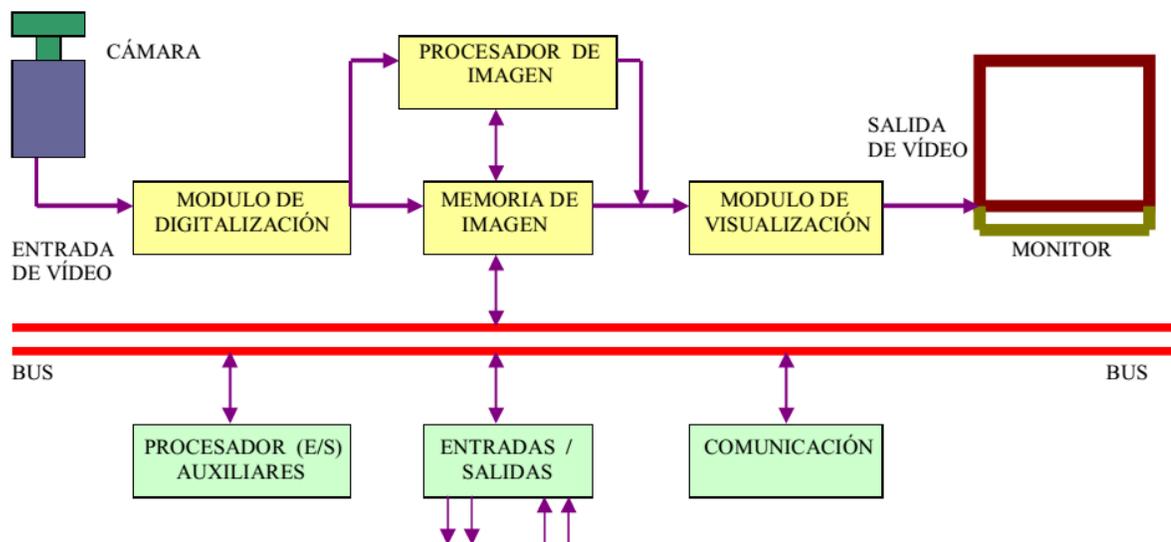
datos visuales. A pesar de la gran utilidad que le damos a la visión humana este es el sentido del que menos se conoce debido a su gran complejidad<sup>5</sup>.

Los antecedentes de la visión artificial como un concepto propio e independiente tienen origen a partir de la década de los 80, una época histórica en la que se logra que las técnicas de percepción y procesamiento de imagen confluyan y den un cuerpo de conocimiento al campo. La revolución de la electrónica, con las cámaras de video CCD y los microprocesadores, junto con la evolución de las ciencias de la computación hace que sea factible la Visión Artificial.

La visión artificial se puede definir entonces como un campo de la Inteligencia Artificial (IA) por el cual, mediante técnicas adecuadas, pretende capturar la información visual del entorno físico, procesándola y analizándola para extraer características relevantes a través de imágenes digitales.

Al ser el propósito de la visión artificial llegar a ser una fiel copia del ojo humano, se ha de incursionar en diferentes conceptos que dan un entendimiento del funcionamiento de la visión humana y cómo percibe está el mundo exterior como lo es la luz natural, contraste, brillo y color. La captación de imagen va de la mano del conocimiento de estos conceptos y el modo en que se emplearan de acuerdo al resultado que se quiera obtener.

#### DIAGRAMA DE BLOQUES



**Figura 2.2 Diagrama de bloques para la adquisición y procesamiento de una imagen.**

5

#### 4.2.1 Visión Humana y Visión Artificial (ANALOGIA)

Como se ha mencionado anteriormente acerca de la visión humana, esta es uno de los sentidos más importantes del ser humano, teniendo terminaciones nerviosas dos millones de veces más que el oído el cual cuenta con treinta mil terminaciones nerviosas, donde la radiación que es recibida por el ojo deberá ser transformada en señales que sean procesadas por el cerebro, siendo el ojo humano el elemento transductor mientras que el cerebro es el que procesa dicha información.

Antes de entender cómo funciona la captación de imagen por medio de un dispositivo electrónico, se deberá entender el funcionamiento del ojo humano, el cual está compuesto por diferentes músculos, nervios y nervios sensoriales. El ojo se conforma de una óptica y una zona sensorial. Esta óptica se constituye por la córnea, que cumple el rol de lente fija, el iris o pupila, la cual regula la cantidad de luz que entra en el interior y el cristalino que hace las veces de lente variable, permitiendo un enfoque dependiendo de la distancia de los objetos.

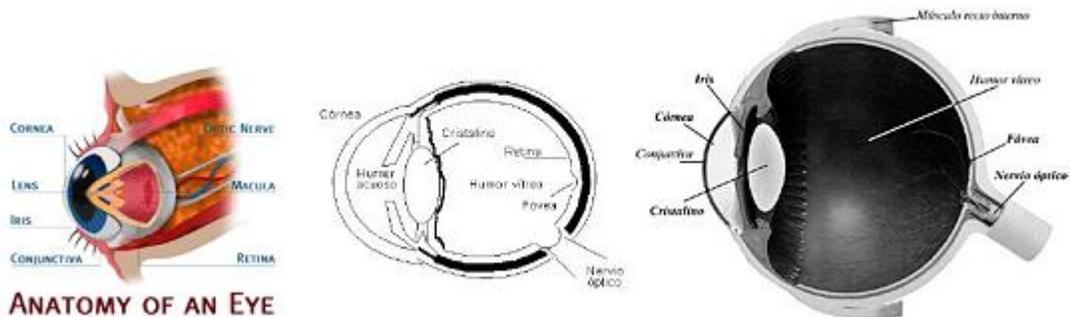


Figura 2.3 Secciones del ojo humano.

La captación de color se encuentra representada por las células fotosensibles, los conos y los bastones, ubicándose en la parte posterior del globo ocular. La percepción del color de una imagen se realiza en los conos. Son unos seis millones y cada cono tiene conexión a varias neuronas. Basándose en la información aportada por estos, el cerebro construye la sensación de color. Por otro lado los bastones, que son unos 100 millones, son capaces de detectar la intensidad lumínica.

Las cámaras de video con sus ópticas hacen las veces de globo ocular, mientras el computador será el que realiza la labor del procesamiento, del mismo modo que haría el cerebro. Es de esta manera como vemos la imitación de la naturaleza en cada uno de los artefactos que el hombre ha construido. Aun así, y como pasa en muchos campos de la inteligencia artificial, el anhelo que inicialmente se concebía de la posibilidad de tener maquinas capaces de describir, con información de alto nivel, las escenas capturadas, fue desvaneciéndose lentamente aun teniendo una teoría de la visión pero todavía con un desconocimiento de los mecanismos que el cerebro utiliza para obtener la información de la percepción. El cerebro es capaz, de manera inconsciente, de determinar la distancia a los objetos, de reconocerlos en diferentes posiciones, aunque se encuentren rotados y con información parcialmente oculta.

Aunque el cerebro, en definitiva, presenta un arquetipo sofisticado para la percepción que no permitirá ni ahora ni en mucho tiempo la posibilidad de implementarse artificialmente, si permite construir nuevos y sofisticados algoritmos que sean capaces de obtener información de bajo nivel visual, siendo esta una labor de la Visión Artificial.

#### **4.2.2 Visión Artificial Aplicada a la Industria**

Con la visión artificial se pueden:

- Automatizar tareas repetitivas de inspección realizada por operadores.
- Realizar controles de calidad de productos que no era posible verificar por métodos tradicionales.
- Realizar inspecciones de objetos sin contacto físico.
- Realizar inspecciones del 100% de la producción (Calidad total) a gran velocidad.
- Realizar el tiempo de ciclo en procesos automatizados.
- Realizar inspecciones en procesos donde existe diversidad de piezas con cambios frecuentes de producción.

Las principales aplicaciones de la visión artificial en la industria actual son:

- Identificación e inspección de objetos.
- Determinación de la posición de objetos en el espacio.
- Establecimiento de relaciones especiales entre varios objetos (guiado de robots)
- Determinación de las coordenadas importantes de un objeto.
- Realización de mediciones angulares.
- Mediciones tridimensionales.

## 5. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Según (SOBRADO MALPARTIDA, 2003) :

“Podríamos decir que la Visión Artificial (VA) describe la deducción automática de la estructura y propiedades de un mundo tridimensional posiblemente dinámico, bien a partir de una o varias imágenes bidimensionales del mundo. Las imágenes pueden ser Monocromáticas (de niveles de gris) o colores, pueden provenir de una o varias cámaras e incluso cada cámara puede estar estacionaria o móvil”.

(Maduell, 2009) Nos dice que:

“La visión artificial o visión por computador es la ciencia y la tecnología que permite a las "máquinas" ver, extraer información de las imágenes Digitales, resolver alguna tarea o entender la escena que están visionando”.

“Actualmente, las aplicaciones de la visión artificial están muy extendidas y van desde el campo de la industria (contar botellas, comprobar defectos en una cadena de montaje, interpretar un TAC médico...) y el campo de la medicina (Recuento y búsqueda de células), hasta los sistemas más complejos, que permiten a los robots orientarse en un entorno desconocido, pasando por el reconocimiento de patrones de la realidad aumentada, entre otras muchas aplicaciones”.

La visión artificial está compuesta por un conjunto de procesos que se encargan de capturar, analizar e interpretar los resultados para tomar acciones requeridas dentro de todo tipo de procesos.

Con la visión artificial se puede lograr:

- Caracterización de objetos.
- Automatizar tareas repetitivas de inspección realizadas por operadores.
- Realizar inspecciones de objetos sin contacto físico.
- Realizar la inspección del 100% de la producción (calidad total) a gran velocidad.
- Reducir el tiempo de ciclo en procesos automatizados.
- Determinación de las coordenadas importantes de un objeto.
- Realización de mediciones angulares.
- Mediciones tridimensionales.

Estas tareas pueden ser usadas en campos como:

- Navegación en Robótica: En este campo una cámara proporciona las imágenes que serán procesadas por el sistema el cual idéntica objetos y posibles rutas de navegación.
- Biología, Geología y Meteorología: En la biología la VA puede ser usada para identificar microorganismos identificando sus propiedades (tamaño, excentricidad, color, etc.) o para contar el número de microorganismos en una imagen.

En la Geología la VA es muy efectiva para determinar la naturaleza de una determinada formación geológica y en la Meteorología podría ser usada para la detección, predicción de movimientos y la evolución de masas nubosas, u otros fenómenos meteorológicos.

- La Medicina: La comunidad médica tiene muchas aplicaciones en las que aparece el procesamiento de imágenes, a menudo orientadas hacia el diagnóstico de dolencias o enfermedades, entre las que se incluyen radiografías, resonancias magnéticas, tomografías etc.
- Reconocimiento y Clasificación: Para el reconocimiento se trata de asociar los elementos de las imágenes con atributos previamente programados para así clasificar los elementos por sus cualidades cuantitativas o cualitativas.
- Cartografía: Mediante el uso de imágenes estereoscópicas aéreas o de satélite es posible obtener las elevaciones del terreno.
- Interpretación Fotográfica: La fotointerpretación es la ciencia que trata del análisis de las imágenes por parte de un experto para extraer de ellas la información de interés o relevante, por ejemplo, ver las construcciones existentes en una determinada imagen de satélite o una imagen aérea.

## 6. PROCESADOR DIGITAL DE SEÑALES DSP-BF533

Señal se puede definir como una magnitud física o detectable mediante la que se puede transmitir mensajes o información. Matemáticamente una señal es una función de una variable independiente.

La información que esta trasmite generalmente es acerca del comportamiento de sistemas de procesamiento de audio, imágenes o control en tiempo real, estos se pueden ver en ejemplos como:

- Reconocimiento de voz.
- Reproductores digitales de audio.
- Automatización de equipos industriales.
- Cámaras digitales.
- Identificación de objetos en tiempo real.
- Control de motores.
- Control en las comunicaciones.
- Conversores Análogos, Digitales.
- Trasportes.

En su artículo Procesadores digitales de señal (Salazar) define los Procesadores de señales como:

“Un sistema de procesamiento digital de señal puede definirse como cualquier sistema electrónico que realice procesamiento digital de señal, entendiéndose por él la aplicación de operaciones matemáticas a señales representadas de forma digital. Las señales son representadas de forma digital mediante secuencias de muestras. A menudo, estas muestras se obtienen de señales físicas (por ejemplo, señales de audio) utilizando transductores (un micrófono en este caso) y convertidores analógico-digitales. Después del procesamiento matemático, las señales digitales pueden volver a convertirse en señales físicas mediante convertidores digital-analógicos”.

Además de esto (RODRÍGUEZ JÁTIVA, 2012) nos dice que:

“El análisis y manipulación de señales que se presentan en forma análoga, requieren de la aplicación de sistemas de hardware y software adecuados. En la actualidad, y dados los últimos avances tecnológicos, para obtener los resultados más reales en aplicaciones como filtraje de señales de voz, manipulación de señales de audio y video, lo más recomendable es la utilización de técnicas de procesamiento digital de señales como las tarjetas DSP”.

La ventaja de los DSP frente a los procesamientos analógicos es que se obtiene una mayor velocidad de procesamiento a un costo reducido y con una mayor facilidad de interconexión.

Los sistemas DSP están constituidos principalmente por microprocesador que posee un juego de instrucciones, un hardware y software optimizados, para permitir el desarrollo de aplicaciones que requieren operaciones numéricas a muy alta velocidad”.

ANALOG DEVICE es uno de los mayores innovadores de los sistemas de procesamiento digitales con especial enfoque en ADC, (Convertidores de señal analógica a digital), DAC (convertidores Digital-Análogo), MEMS (Sistemas Micro electrónicos) y DSP (Procesador Digital de Señales).

Los sistemas de procesamiento digital de señales DSP de Analog Devise cuentan con altas prestaciones para el procesamiento de audio, imágenes y video. Estos sistemas se dividen en dos familias principales (*BLACKFIN* y *SHARP*), ambas familias tienen altas capacidades de procesamiento.

Blackfin cuenta con procesadores de 16 y 32 bits, entre ellos están los ADSP-BF (537, 533, 535, 609, 561,700, 14f16, 524, 512, 548).

Estos procesadores tienen diversas arquitecturas pero siempre cuentan con unidades principales como Unidad aritmética de datos, Unidad aritmética de direcciones y Unidad de control.

### **6.1 Procesador Digital de Señales ADSP-BF533**

La compañía Analog Device ha diseñado una familia de procesadores orientados a las aplicaciones en áreas de como la multimedia y las telecomunicaciones las cuales requieren grandes capacidades de procesamiento que se ejecuten con bajo consumo de potencia, estas áreas necesitan de altos niveles computacionales para lograr procesar señales de audio y video en tiempo real es por esto que se ha desarrollado la familia Blackfin de DSPs BF53X la cual cuenta con las siguientes características:

- Arquitectura Micro Signal Architecture.
- Doble MAC 16 bits.
- Doble ALU (Unidad Aritmético lógica) de 32 bits.
- Desempeño de 600 MHz.
- Dynamic Power Management
- Controlador DMA

El ADSP-BF533 EZ-Kit Lite es un kit de desarrollo ofrecido por Analog Devices, el cual está basado en las DSPs BF533 y BF535 de la familia de procesadores Blackfin. Este Kit tiene un hardware diseñado para aplicaciones que requieran procesamiento digital de señales de audio y video para esto cuenta con el decodificador de video ADV-7183, el codificador-decodificador de audio ADV7171 entre otros.

Para el procesamiento de video cuenta con un canal de entrada, un canal de salida, 3 conectores RCA de entrada y 3 conectores RCA de salida, para interacción externa con el usuario la tarjeta posee 10 Led's, 5 pulsadores, 4 banderas programables y un trasmisor-receptor asíncrono universal (UART).

La tarjeta de desarrollo ADSP-BF533 EZ-Kit Lite puede ser trabajada desde un entorno de programación en C++ gracias al software Visual DSP++, el cual permite trabajar un entorno de programación totalmente desarrollado y enfocado a este dispositivo además de una gran compatibilidad y acceso más rápido y sencillo a todas las características de la tarjeta.

A continuación se mencionaran las diferentes características de hardware del procesador ADSP-BF533 encontradas en (MORENO RUIZ & GARCIA MAYA, 2014).

- Procesador Blackfin® ADSP-BF533 de Analog Devices.  
Este procesador ofrece un rendimiento hasta de 600MHz con un oscilador de reloj base de 27 MHz bajo un empaquetamiento mini-BGA de 160 pines.
- Memoria Síncrona Dinámica de Acceso Aleatorio (Synchronous dynamic random access memory, SDRAM por sus siglas en inglés).  
Memoria MT48LC32M16 de 64 MB (32M registros de 16 bits cada uno).
- Memoria Flash.  
Memoria de 2 MB (512K registros de 16 bits cada uno en 2 chips diferentes).
- Interfaz de Audio Análogo.  
Esta interfaz posee un codificador de Audio de 96KHz AD1836, 4 conectores de entrada (2 Canales de Audio Estéreo) y 6 Conectores de salida tipo RCA (3 Canales de Audio Estéreo).
- Interfaz de Video Análogo.  
Esta interfaz cuenta con un decodificador de entrada de video ADV7183 y un codificador de salida de video ADV7171, cada uno con 3 conectores tipo RCA.

- **Módulo UART.**  
Este módulo de comunicación posee un controlador-Receptor ADM3202 RS-232 y un conector macho DB9.
- **LED's.** Esta tarjeta tiene 10 Leds, los cuales se distribuyen en 1 LED de encendido (verde), 1 LED de reinicio de la tarjeta (rojo), 1 LED de conexión USB (verde), 6 LED's de propósito general (ámbar), y un 1 LED monitor USB (ámbar).
- **Botones Pulsadores.**  
Se cuenta con 5 botones pulsadores y 4 banderas programables.
- **Interfaces de Expansión.**  
Interfaz para Periféricos Paralelos (Peripheral Parallel Interface, PPI por sus siglas en inglés), Interfaz para Periféricos Serie (Serial Peripheral Interface, SPI por sus siglas en inglés). La unidad de interfaz de bus externo, (External Bus Interface Unit, EBIU por sus siglas en inglés), 3 Contadores, banderas programables y dos puertos serie síncronos de alta velocidad (SPORT0 Y SPORT1).
- **Otras Características.**  
Conector de 14 pines JTAG ICE.

## **6.2 Arquitectura del procesador ADSP-BF533.**

### **6.2.1 Bloques Computacionales – DSP CORE**

El core del procesador consta de las siguientes unidades.

1. **Unidad Aritmética de Datos:** En esta se ejecutan todo tipo de operaciones Aritméticas, Lógicas y tipo Shifter. En esta unidad se encuentran dos Mac de 16 bits, dos acumuladores de 40 bits, cuatro ALUs (Unidad Aritmético Lógica) y un Shifter.
2. **Unidad Aritmética de Operaciones:** Esta Unidad se encarga de generar las direcciones para el doble acceso a las memorias de la DSP.  
Son funciones principales son:
  - Generación de direcciones con post-modificación

- Generación de direcciones OfSet
  - Direccionamiento de bit invertido (bit reversed)
  - Frama y Stach Pointer
3. Unidad de Control: su función es buscar las instrucciones en la memoria principal, decodificarlas (interpretarlas) y ejecutarlas, empleando para ello la unidad de proceso.

### 6.2.2 Memoria

Los procesadores Blackfin se basan en una arquitectura Harvard modificada en combinación con una estructura jerarquita de memoria la cual esta direccionada por registros de 32 bytes y un espacio de direcciones unificado de 4 Gbytes, todo esto está basado en una estructura DMA, en todas las memorias internas y externas, los registros de control de los periféricos ocupan un espacio común en esta memoria de direccionamiento.

El procesador divide sus memorias en dos grupos, Las memorias internas (On-Chip) y las externas (Off\_chip) que se comunican mediante los diferentes buses de datos o interfaces.

Las memorias On-Chip son las más rápidas ya que estas se encuentran en el encapsulado del procesador, tienen gran ancho de banda, tienen un reducido tamaño y se pueden encontrar tres de estas memorias.

1. La memoria de instrucciones L1 de tipo SRAM de 80K bytes.
2. La memoria de datos L1 de tipo SRAM con 2 bancos de 32K.
3. La memoria Scratchpad de tipo SRAM de 4K bytes.

Las memorias Off-Chip cuentan con diferentes tecnologías asíncronas como las SRAM, FLASH, EEPROM y ROM y en caso de las memorias síncronas se tienen las de tipo SDRAM.

### 6.2.3 Dynamic Power Management

La familia de los blackflin ofrece funcionalidad para la administración dinámica de potencia, dicha funcionalidad incluye:

- Manejo de relojes.
- Bucle de enganche de fases (PLL, Phase Locked Loop):
- Controlador de administración dinámica de potencia.
- Modos de operación.
- Control de voltaje.

### 6.3 Implementación de algoritmos en el entorno Visual DSP++.

El entorno de desarrollo de Visual DSP++ permite un crear aplicaciones robustas y la depuración de estas, este contiene herramientas que facilitan la implementación de algoritmos que requieren la gestión de los recursos a medida además de esto permite integrar software que pueden facilitar su uso, entre estos esta Matlab, Simulink, Green Hills Software, uClinux Kernel y LabView.

Según (Gradc): “El programa “Visual DSP++ Project management environment” permite al programador desarrollar y depurar las aplicaciones. El entorno incluye un montador o ensamblador basado en sintaxis algebraica de fácil uso, librerías, indicador, cargador, simulador de ejecución paso a paso, un compilador C/C++ y librerías que incluyen las funciones matemáticas del DSP. El compilador ha sido desarrollado para la traducción eficiente del código C/C++ al lenguaje ensamblador del procesador Blackfin.

El “VisualDSP++ Integrated Development Environment” (IDE) permite a los programadores definir y gestionar un desarrollo software, donde se puede configurar todas las distintas herramientas de las que disponemos.

El “VisualDSP++ Kernel” (VDK) incorpora una programación y gestión de los recursos a medida, especialmente para direccionar la memoria y programar las constantes de tiempo del DSP. Esto permite a los ingenieros desarrollar código más eficientemente, eliminando la necesidad de partir de cero cada vez que se desarrolla una nueva aplicación. VDK es una librería, un programador puede decidir si se usa o no. El VDK está integrado en VisualDSP++ pero también puede usarse con herramientas estándares de línea de comandos.

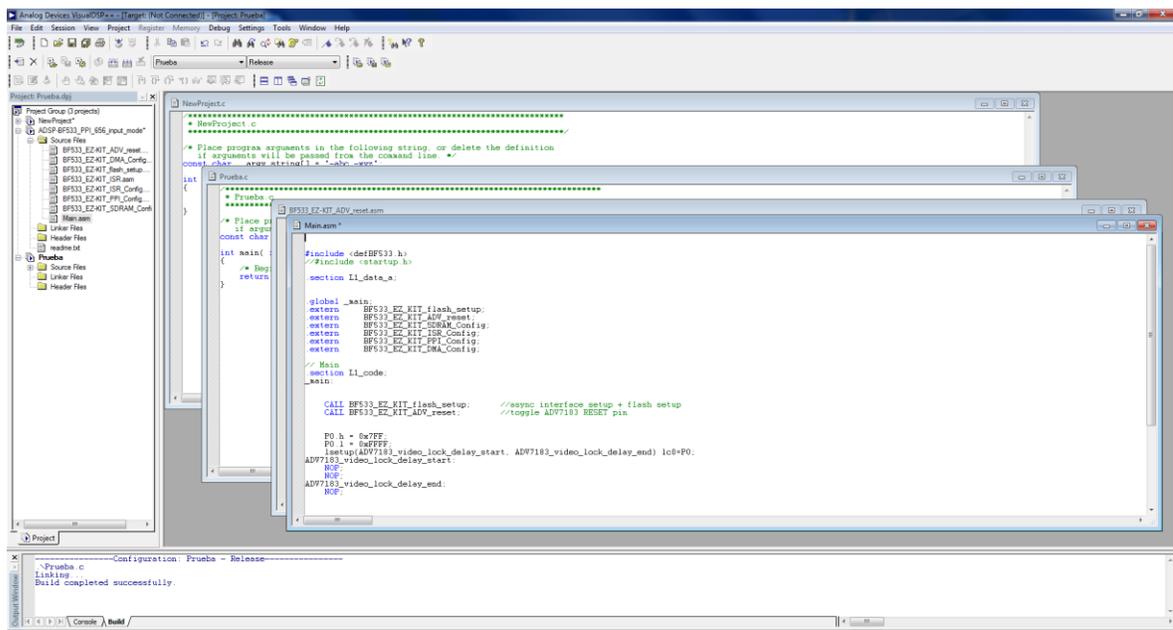
El entorno de desarrollo VDK ayuda a gestionar los recursos del sistema, automatiza la generación de varios objetos basados en VDK, y visualiza el estado del sistema durante la depuración de una aplicación.

El emulador de Analog Devices usa el puerto de acceso para test IEE 1149.1 JTAG del procesador para monitorizar y controlar la tarjeta durante la emulación. El emulador proporciona máxima velocidad, permitiendo inspeccionar y modificar la memoria, registros y pilas del procesador.

Además del hardware y software proporcionado por Analog Devices, terceras partes proporcionan un amplio rango de herramientas para la familia de procesadores Blackfin, como son:

- Mathworks. Que permite integrar VisualDSP++ con Matlab y Simulink para depurar código pudiendo usar los modelos de Simulink.
- Green Hills Software. Este software es un medio para acelerar y abaratar costes a la hora de introducir un producto al mercado. Proporciona múltiples herramientas que permiten a los diseñadores de sistemas embebidos elegir el estilo de desarrollo que mejor se ajuste a sus necesidades de organización.
- uClinux Kernel + GNU Software. Es una plataforma en la que se impulsa el uso de software libre, y permite la posibilidad de introducir Linux en nuestro micro ADSP-BF533 con todo el software necesario para gestionarlo. Actualmente, esta herramienta no está tan desarrollada como las anteriores, pues se tienen muchas limitaciones a la hora de las características que debe tener el blackfin para usarlo con linux.
- LabView Embedded for Blackfin. Existe la posibilidad de trabajar con VisualDSP++ 5.0 y LabVIEW 8.5, reunificándose en una aplicación las ventajas de ambas herramientas”.

El entorno de trabajo de Visual DSP++ posee una estructura de fácil acceso a todas sus herramientas como se puede observar en la imagen 6.1.



**Figura 6.1 Entorno de Desarrollo Visual DSP++.**

En la figura 6.1 se puede observar las distintas ventanas del software entre ellas se encuentran la ventana de “Project” la cual contiene todos los proyectos que están abiertos, ventana “Disassembly” esta muestra el algoritmo en lenguaje de programación ensamblador que están almacenadas en las distintas memorias de la tarjeta, “Output Window” esta ventana se muestra información relativa del programa incluyendo fallas y compilación exitosa.

### 6.3.1 Captura de imágenes en VisualDSP++.

Para la captura de imágenes se partirá de ejemplos ya desarrollados por el software VisualDSP++ los cuales se encuentran en la carpeta de instalación de este, a continuación se describe un paso a paso de la captura de imágenes.

- 1) Se ejecuta el proyecto “BF533\_EZ\_KIT\_Video\_Receive\_C.dpj”.

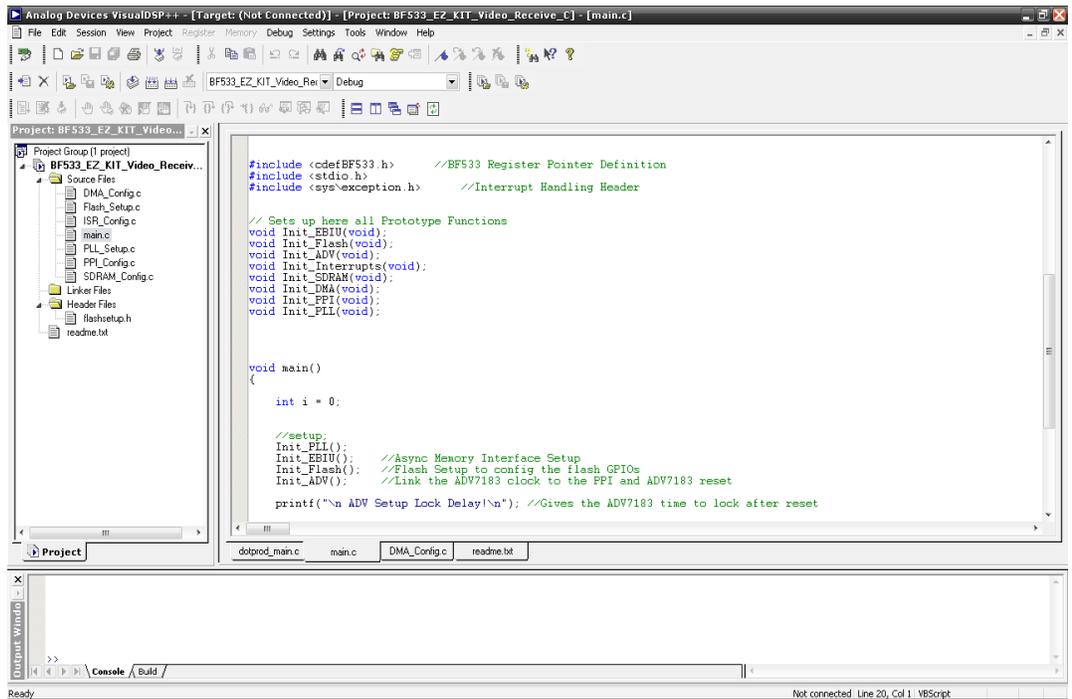


Figura 6.2. Proyecto BF533\_EZ\_KIT\_Video\_Receive\_C.dpj.

- 2) Ya abierto el proyecto, en la ventana “Project”, se ejecuta la opción “Build Project”, para cargar automáticamente en la tarjeta.

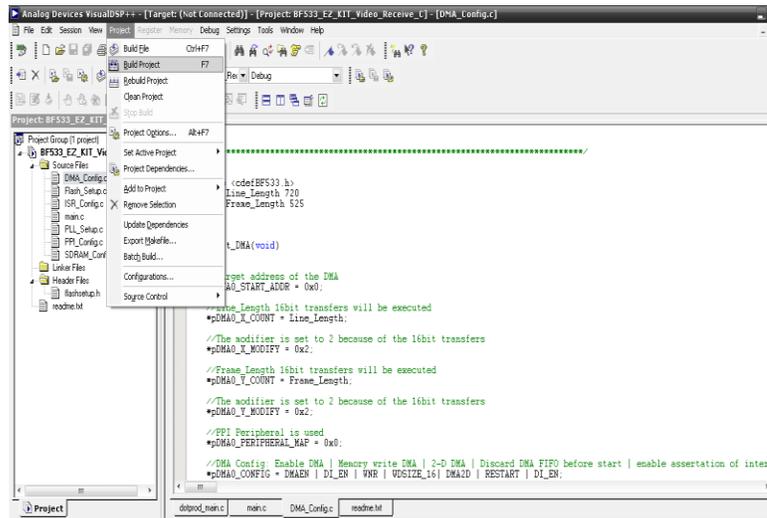


Figura 6.3. Carga de programa a la tarjeta.

- 3) Realizar la conexión de la cámara a la tarjeta DSP, esto se realiza por medio de un conector RGA en la entrada de video AVINI Jack.

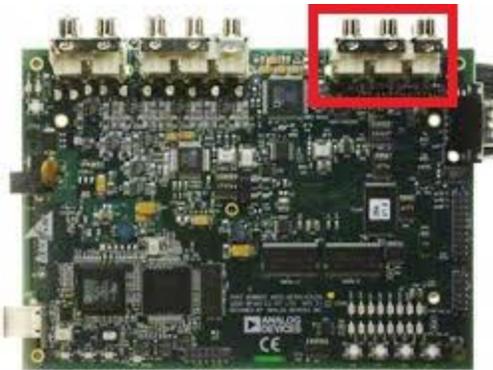


Figura 6.4. Conector AVINI JACK.

- 4) En la opción “Halt” ubicada en la pesaña “Debug” se podrá detectar automáticamente la tarjeta.
- 5) Si los pasos anteriores se realizaron correctamente se podrá ejecutar el programa, esta acción se realiza con “Run” que se encuentra en la ventana “Debug”.

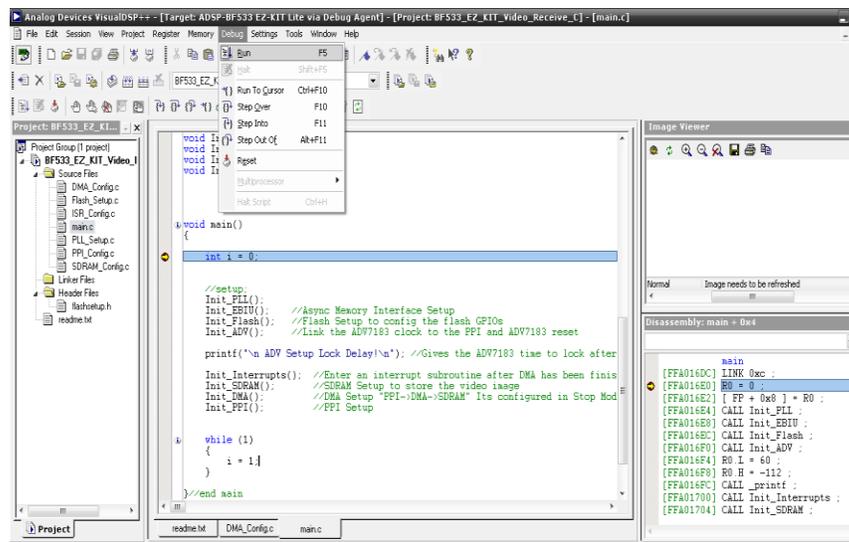
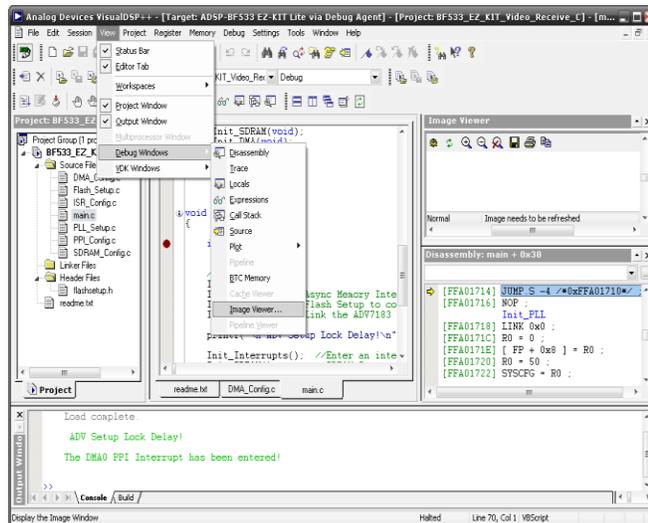


Figura 6.5. Compilación del Programa.

- 6) Con ejecutar el programa se podrá obtener la captura de la imagen que está tomando la cámara, esta imagen se digitalizara a través de la tarjeta DSP y el entorno de desarrollo DSP++, por medio de la herramienta “Image Viewer” se podrá visualizar la imagen en el PC, para esto se debe ubicar la ventana “View / Debug Windows / Image Viewer”.



**Figura 6.6. Visualización de Imágenes.**

- 7) Con esto se abrirá la ventana con la información de la imagen capturada.

## 7. Resultados.

En este capítulo se realizara la descripción de los algoritmo básicos los cuales, después de capturar los datos entregados por un manómetro análogo por medio de una cámara de adquisición, realizaran el pre-procesamiento, la segmentación, descripción, reconocimiento e interpretación de los datos para así obtener los valores aproximados de un sistema de presión el cual es llevado desde sus condiciones iniciales en cero (0) bares hasta una presión máxima de cinco (5) bares, con esto se puede observar un comportamiento de un sistema en condiciones controladas.

### 7.1 Descripción General

Este sistema fue desarrollado en varias etapas para las cuales se describirán a continuación:

**Captura de Imágenes:** Este segmento es el encargado de la adquisición de las imágenes del manómetro por medio de la cámara digital, la función de captura tomo aproximadamente 5 muestras por segundo.

**Pre-Procesamiento:** En esta esta etapa se realiza una segmentación de las capaz, eliminación de ruidos, ajustes generales y enriquecimiento de todos los detalles de la imagen para así facilitar las demás etapas del proceso.

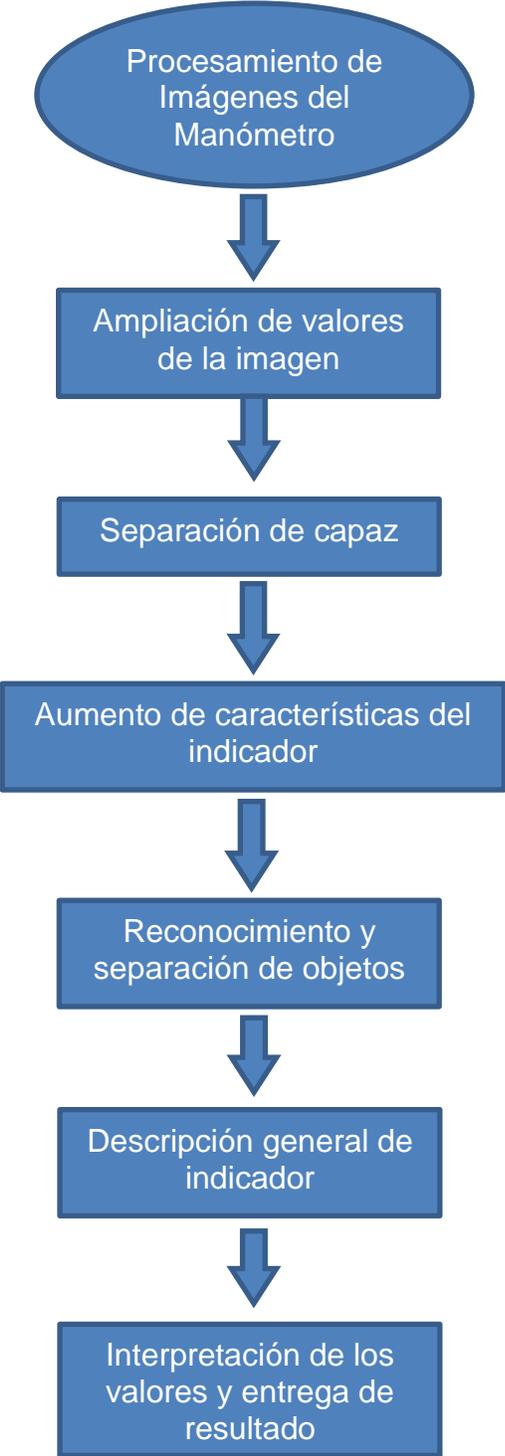
**Segmentación:** Este proceso busca separar el indicador del manómetro de los demás objetos y el fondo, ya que este es el objeto central del algoritmo que logra su objetivo central que es encontrar el valor de la presión del sistema por medio de la orientación del indicador.

**Descripción:** Determina las características principales del indicador las cuales se usan posteriormente para el análisis del sistema, es en este punto donde se obtienen la mayor información útil del manómetro.

**Reconocimiento:** Mediante el reconocimiento se identifica el indicar y se selecciona como objeto de análisis.

**Interpretación:** Es la etapa final, en la cual se obtienen los datos por medio de la orientación del indicador, esto con el fin de generar los datos necesario para la interpolación y así mostrar en pantalla el valor aproximado de la presión.

## 7.2 Diagrama del Sistema



## 7.3 IMPLEMENTACION DE ALGORITMOS BASICOS

Con el objetivo de tener una idea clara de cómo es el desarrollo del proceso, el proyecto se dividió en varias etapas, todas ellas llevadas a cabo en el entorno de MATLAB, el cual proporciona las ecuaciones por medio de instrucciones que internamente tiene este implementadas, y nos ayudan al procesamiento de la imagen.

### 7.3.1 CAPTURA DE IMÁGENES

Este segmento es el encargado de la adquisición de las imágenes del manómetro por medio de la cámara digital, la función de captura tomo aproximadamente 5 muestras por segundo. La cámara que se utilizara para la captura de imágenes en tiempo real será análoga do 700TLV con una salida BNA.

Debido a que la información que se analizara será en tiempo real, el video capturado por la cámara será luego procesado en MATLAB, donde se llama con el siguiente código:

```
img=step(video); %toma imagen de muestra  
  
figure (1)  
subplot(331)  
imshow(img)
```

Un video es una secuencia de imágenes, que se denomina también Fotogramas por segundo, que es la velocidad de carga de las imágenes o la frecuencia de imagen por segundo, lo que logra generar una sensación de movimiento. La fórmula de esta frecuencia es la siguiente:

$$f(\text{frames}) = 1/T(s)$$

Debido a que la señal de entrada será un video en tiempo real, la función "Step(video)" captura cada secuencia de imagen para luego ser procesada cada una de ellas.

A continuación se muestra un segmento del video que se capturo y se grafico



Figura 7.1 Imagen de un Segmento del video.

### 7.3.2 PRE-PROCESAMIENTO

En esta esta etapa se realiza una segmentación de las capas, eliminación de ruidos, ajustes generales y enriquecimiento de todos los detalles de la imagen para así facilitar las demás etapas del proceso.

### 7.3.3 CAPAS RGB O MATRIZ BAYER

(Wikipedia, 2016)

Los sensores CCD son monocromos, estos se colocan detrás de una matriz Bayer, siendo cada una de las celdas sensibles a uno de los tres colores básicos, Rojo, Verde y Azul (RGB en inglés) cuyas mezclas darán el resto de la gama de colores.

La cantidad de celdas sensibles a cada color en esta matriz no debe de ser la misma para cada color RGB. Por esto debe de existir un número mayor de celdas sensibles al verde para que la imagen tenga así unos colores más reales. Por este motivo, la asignación de colores a las celdas de la matriz Bayer se establece un 50% para el Verde y de un 25% tanto para el Rojo y el Azul.

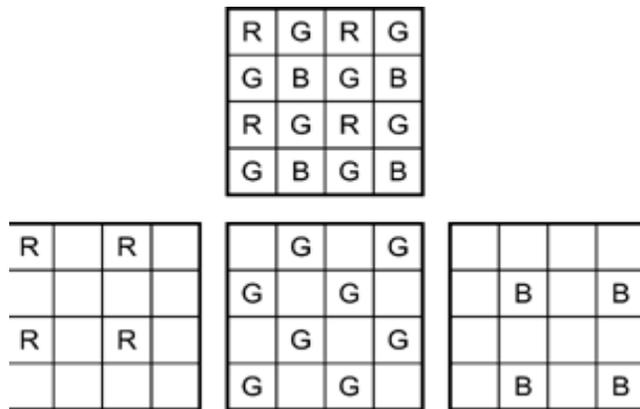


Figura 7.2 Asignación de colores de cada celda.

La conversión Bayer, es entonces, el proceso mediante el cual se convierte la imagen a sus colores reales a partir de las capas de filtro Bayer.

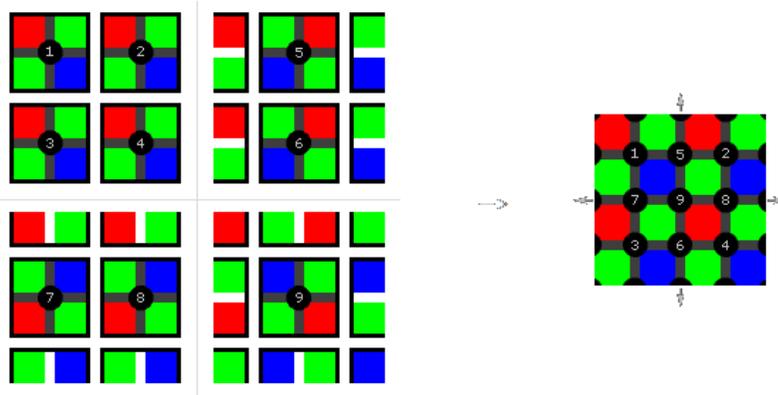


Figura 7.3 Conversión a los colores reales de la imagen.

Debido a la matriz Bayer, se deben separar las capas de la imagen que se obtiene y realizarlas, este proceso ayudara a resaltar detalles en la imagen que servirán para definir qué tipo de filtros aplicar para obtener resultados más precisos.

A continuación se muestran los comandos utilizados para separar la imagen del video en cada una de las capas RGB.

```

capa_roja=img(:,:,1);
capa_verde=img(:,:,2);
capa_azul=img(:,:,3);

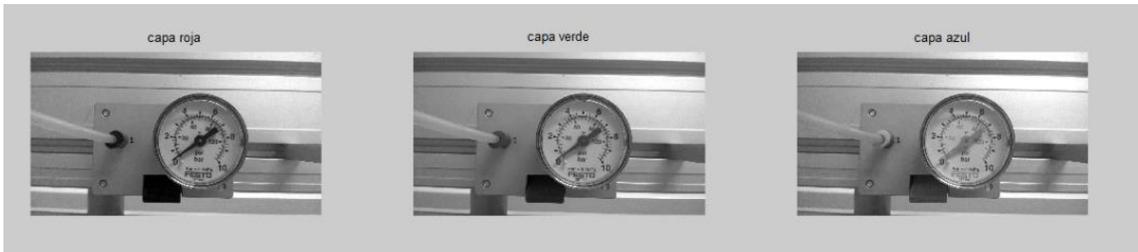
subplot(131)
imshow(capa_roja),title('capa roja')

```

```
subplot(132)
imshow(capa_verde),title('capa verde')

subplot(133)
imshow(capa_azul),title('capa azul')
```

A continuación se muestra cada una de las capas RGB



**Figura 7.4 Capas RGB.**

### 7.3.4 REALCE

El realce lo definimos como un mejoramiento en la imagen usando estadísticas sobre variables locales de la misma.

En términos de realce, estamos interesados principalmente en la media, que es una medida del promedio del nivel de gris en una imagen, y en la varianza (O desviación estándar) que es una medida promedio del contraste.

Se consideraran dos usos de la media y la varianza para el realce:

1. La media y varianza globales que se miden sobre la imagen entera y se usan para un ajuste grueso de toda la intensidad y el contraste.
2. Otro uso más poderoso en el que se pueden usar estas dos herramientas es para el realce local, donde se utilizan como la base para hacer cambios que dependen de características de una región predeterminada de cada pixel de la imagen.

Sea  $(x,y)$  las coordenadas de un pixel en una imagen, y sea  $S_{xy}$  una vecindad (subimagen) de tamaño específico centrada en  $(x,y)$ . La media y la varianza de la región  $S_{xy}$  están dadas por:

$$m_{s_{lv}} = \sum_{(s,t) \in S_{lv}} r_{s,t} P(r_{s,t}); \quad \sigma^2_{s_{ev}} = \sum_{(s,t) \in S_{ev}} [r_{s,t} - m_{s_{lv}}]^2 P(r_{s,t})$$

Donde  $r_{s,t}$  es el nivel de gris en las coordenadas  $(s,t)$  de la vecindad, y  $p(r_{s,t})$  es el componente del histograma normalizado de la vecindad correspondiente al nivel de gris. Estos dependen de las características de una imagen en la región predefinida. La media local es el promedio del nivel de escala de grises en la vecindad. Igual para la varianza y desviación estándar.

Los siguientes comandos resaltan el indicador del manómetro que se encuentra entre los valores de pixeles definidos en cada función.

```
rb=and(capa_roja>30,capa_roja<45); %resalta el indicador que esta entre
estos valores
vb=and(capa_verde>62,capa_verde<75);
ab=and(capa_azul>111,capa_azul<130);
figure (2)
subplot(1,3,1)
imshow(rb),title('máscara roja')
subplot(1,3,2)
imshow(vb),title('máscara verde')
subplot(1,3,3)
imshow(ab),title('máscara azul')
imtool(img)
```

La siguiente imagen es el resultado de los valores que se muestran en cada función para mejorar las áreas oscuras sin cambiar las áreas iluminadas que no requieren ser mejoradas para solo resaltar el indicador.



Figura 7.5 Resalte en cada capa RGB.

### 7.3.5 FILTROS ESPACIALES.

Los filtros espaciales tienen como objetivo modificar la contribución de determinados rangos de frecuencias a la formación de la imagen. Este se aplica directamente a la imagen con la que se quiere trabajar y no a una transformada de

la misma, es decir, el nivel de gris de un pixel se obtiene directamente en función del valor de sus vecinos.

Los filtros espaciales pueden clasificarse basándose en su linealidad ya sean filtros lineales o filtros no lineales.

La forma de operar de los filtros lineales es por medio de la utilización de máscaras las cuales recorren toda imagen, centrando las operaciones sobre los pixeles que se encuadran en la región de la imagen original que coincide con la máscara y el resultado se obtiene mediante una computación (Suma de convolucion) entre los pixeles originales y los diferentes coeficientes de las máscaras.

Por otro lado los filtros espaciales no lineales también operan sobre entornos, algunos ejemplos de estos filtros son los habituales filtros Mínimo, Máximo y de mediana que son conocidos como *filtros de rango*. A continuación se hará una breve descripción, para tener una idea de cuál es la funcionalidad de los filtros mencionados anteriormente.

- Filtro máximo y mínimo: El filtro máximo se emplea para buscar los puntos más brillantes de una imagen produciendo un efecto de *Erosión*, por el lado contrario el filtro mínimo busca los puntos más oscuros de una imagen produciendo un efecto de *Dilatación*.
- Filtro de mediana: Este tiene un efecto de difuminado en la imagen, y permite realizar una eliminación de ruido.

En MATLAB utilizaremos la operación AND , la cual es una operación lógica con todos los arreglos de entrada de la matriz A, B, etc., y devuelve una matriz conteniendo todos los elementos establecidos ya sean en 1 lógico (Verdaderos) o un 0 lógico (Falso). Un elemento de la matriz de salida se pone a 1 si todas las matrices de entrada contienen un elemento distinto de cero en ese mismo lugar de la matriz. De otro modo, el elemento es establecido en 0.

Cada uno de los valores de entrada de la expresión pueden ser una matriz o un valor escalar. Todos los arreglos no escalares deben tener iguales dimensiones. Si uno o más de las entradas son una matriz, la salida será entonces, un matriz con las mismas dimensiones. Si las entradas son escalares, la salida será un escalar.

```
mascara=and(vb,ab); % se aplica and entra capa verde y azul que son las  
que mejores resalta los valores del indicador  
figure (3)  
imshow(mascara)
```

En este caso se aplica una operación AND entre la capa verde y azul que son las que mejor resalta los valores del indicador, de este modo tenemos:



Figura 7.6 Resalte en cada capa RGB.

Luego de haber resaltado el indicador del manómetro por medio de la función AND se procede a aplicar funciones de cierre y apertura que ayudan a eliminar ruidos no deseados de la imagen y nos deja solo con el objeto a analizar, que sería el indicador.

```
mascara=bwareaopen(mascara,100); %crea apertura
```

BW2 = bwareaopen(BW, P) Remueve de una imagen binaria todos los componentes conectados (Objetos) que poseen menos valores que los pixeles de P, produciendo otra imagen binaria, BW2. Esta operación es conocida como un área de apertura. La conectividad por defecto es de 8 para dos dimensiones, 26 para tres dimensiones, y conndef ( ndims (BW) , ' máxima ' ) para dimensiones superiores .

BW puede ser un arreglo lógico o numérico de cualquier dimensión, y debe de ser distinto de cero. El valor de resultado de BW2 es de clase lógica.

```
S=strel('disk',20);  
mascara1=imclose(mascara,S); %cierra los objetos
```

```
figure (5)  
subplot(1,2,1)  
imshow(mascara),title('Apertura')  
subplot(1,2,2)  
imshow(mascara1),title('Cierre')
```

SE = strel('disk', R, N): Crea un elemento estructurante en forma de disco plano, donde R especifica el radio. R debe de ser un entero positivo. N debe ser (0, 4, 6,

8) Cuando  $N$  es mayor que 0, la forma estructural del disco será aproximadamente una secuencia.

En la siguiente imagen se puede apreciar las funciones de cierre y apertura sobre el indicador.



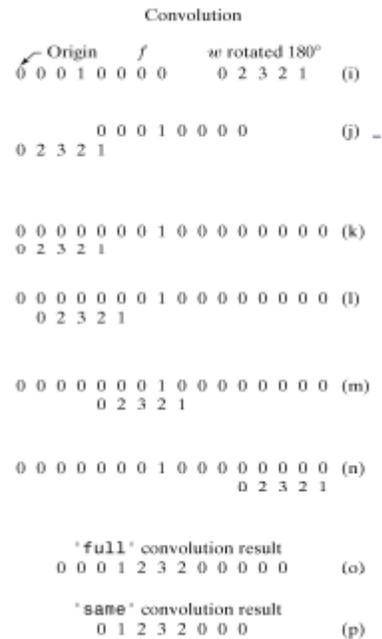
Figura 7.7 Apertura y Cierre.

### 7.3.6 CONVOLUCION

La operación matemática en que consiste la convolucion es simplemente una suma pesada de pixeles vecinos del pixel fuente. Los pesos son determinados por una matriz llamada mascara de convolucion, que determina los coeficientes a aplicar sobre los puntos de una determinada área.

Para ejecutar la convolucion, rotamos  $180^\circ$  a  $w$  y colocamos el valor de “más a la derecha” de  $w$  coincidiendo con el origen de  $f(j)$  (Figura 3), luego se complementan con ceros ( $k$ ). El primer valor de la convolucion es la suma de productos en la posición mostrada ( $k$ ). Se mueve una posición a la derecha y se repite el proceso Inicial. ( $n$ ) es la última posición.

De este modo el resultado ( $o$ ) llamado “full”, implica un cálculo en la manera vista con la imagen completada en ceros. El resultado en ( $p$ ) llamado “same” tiene el mismo tamaño que fue  $f$  y se calcula agregando ceros a la imagen pero se comienza con el punto central de la máscara del filtro.



**Figura 7.8 Convolución.**

Después de haber definido la máscara anteriormente procedemos a sobreponerla en cada una de las capas RGB de la imagen original, de este modo, las siguientes funciones sobresaltan el indicador del manómetro que es la sección de interés para el proceso.

```

capa_roja=double(capa_roja).*mascara;
capa_verde=double(capa_verde).*mascara; % se sobrepone la mascara a las
capas
capa_azul=double(capa_azul).*mascara;

color(:,:,1)= (capa_roja);
color(:,:,2)= (capa_verde); % se unen las capas para crear una imagen
color(:,:,3)= (capa_azul);

color=uint8(color);

figure (6)
imshow(color, []);

```

En la siguiente figura se puede ver la imagen completa con las capas RGB y la máscara sobrepuesta a cada una de ellas, donde apreciamos solo el Indicador.

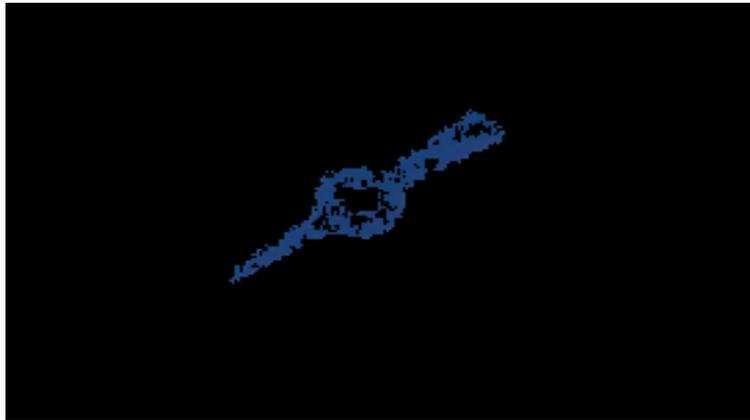


Figura 7.9 Mascara sobre puesta a la imagen original.

### 7.3.7 SEGMENTACION

Este proceso busca separar el indicador del manómetro de los demás objetos y el fondo, ya que este es el objeto central del algoritmo que logra su objetivo que es encontrar el valor de la presión del sistema por medio de la orientación del indicador.

Para esto se utiliza la función BWLABELN que sirve para el etiquetado de una imagen binaria y convertir la etiqueta en una imagen RGB con el propósito de visualizar las regiones marcadas.

```
img5=mascara;  
  
[img6,n]=bwlabeln(img5,8);  
  
img7=label2rgb(img6);  
  
figure(7)  
imshow(img7)
```

También se procede a encontrar la cantidad de objetos de la imagen que, idealmente, deben de ser muy pocos, en este caso sería el indicador del manómetro, el cual es el objetivo de todo el proceso.

```
objeto=1;  
binselected=img6==objeto;  
%img=uint8(img);  
binselected=uint8(binselected); % selecciona el indicador como objeto  
seleccionar=img;  
seleccionar(:,:,1)=(binselected).*img(:,:,1);
```

```
seleccionar(:, :, 2) = (binselected) .* img(:, :, 2);  
seleccionar(:, :, 3) = (binselected) .* img(:, :, 3);
```

A continuación se muestra el objeto deseado de toda la imagen original, el Indicador está debidamente resaltado del resto de la imagen.



Figura 7.10 Indicador del manómetro.

### 7.3.8 DESCRIPCION Y RECONOCIMIENTO

Se procede a determinar las características principales del indicador las cuales se usan posteriormente para el análisis del sistema, es en este punto donde se obtienen la mayor información útil del manómetro.

Con las siguientes funciones podemos apreciar dos características esenciales del indicador que son la orientación del objeto, lo cual nos indica la inclinación, de este modo podemos hallar la presión que el indicador señala.

```
[img6, NUM] = bwlabel(mascara, 8);  
descriptor = regionprops(img6, 'all'); % halla los parametros del sistema  
orientacion = descriptor.Orientation; % se busca la orientacion del objeto
```

Por último, mediante una interpolación, se busca el valor que se está indicando, lo ideal para la interpolación es tener un punto de referencia fijo, en este caso como el indicador del manómetro no se encuentra posicionado en la parte inferior, que sería el cero (0), por el contrario se encuentra más allá de esta, se encontraron distintos valores entregados por la función MATLAB, es por esto que dependiendo hacia donde apunte el indicador se realiza una interpolación distinta. De este modo se tiene:

```

if (orientacion>0)
    y=[0 2];
    x=[35.1675 0];
    presion=interp1(x,y,orientacion);
end
if (orientacion<0)
    y=[2 5];
    x=[0 -90];
    presion=interp1(x,y,orientacion);
end

```

### 7.3.9 INTERPRETACION

Es la etapa final, en la cual se obtienen los datos por medio de la orientación del indicador, esto con el fin de generar los datos necesarios para la interpolación y así mostrar en pantalla el valor aproximado de la presión.

Este proceso se consigue por medio de la siguiente función en MATLAB, que entrega el valor de la presión y se entrega una gráfica de la cantidad de veces que se repite el proceso.

```

t=1:1:a;
    vec(1,a)=presion;

figure (5)
subplot(1,2,1)
imshow(seleccionar, []);

subplot(1,2,2)
plot(vec,t)

disp(['El vector de la presion es: ' num2str(presion)])

```

```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Examples, or read Get
El vector de la presion es: 0.024479
El vector de la presion es: 0.062194
El vector de la presion es: 0.090953
El vector de la presion es: 0.13559
El vector de la presion es: 0.1867
El vector de la presion es: 0.2448
fx El vector de la presion es: 0.30063

```

Figura 7.11 Valor de la presión de acuerdo a la orientación del indicador.

## 8. ESTRUCTURA DEL SISTEMA

La estructura del sistema, se basa en la adquisición de las imágenes del manómetro, el cual es el encargado de medir la presión que se encuentra en un tanque, estas imágenes se envían directamente a la DSP la cual se encarga de procesar los datos para así realizar las acciones de control ya programadas en esta, estos datos entregados por la DSP se entregan a dos sistemas simultáneamente, uno de estos es el encargado de mostrar toda la información en una pantalla y por medio de un sistema SCADA puede ingresar el valor de la presión que desea en el tanque, simultaneo a estos se entregan las señales de control a un circuito electrónico que se encarga de convertir los datos que se transmitirán por medio de módulos XBEE y se entregaran al controlador para así aplicar las señales a la electroválvula, esto con el fin de controlar la presión en el tanque.

En el esquema de sistema de puede observar que se utilizara un control en lazo cerrado para mantener el nivel de aire en el tanque.

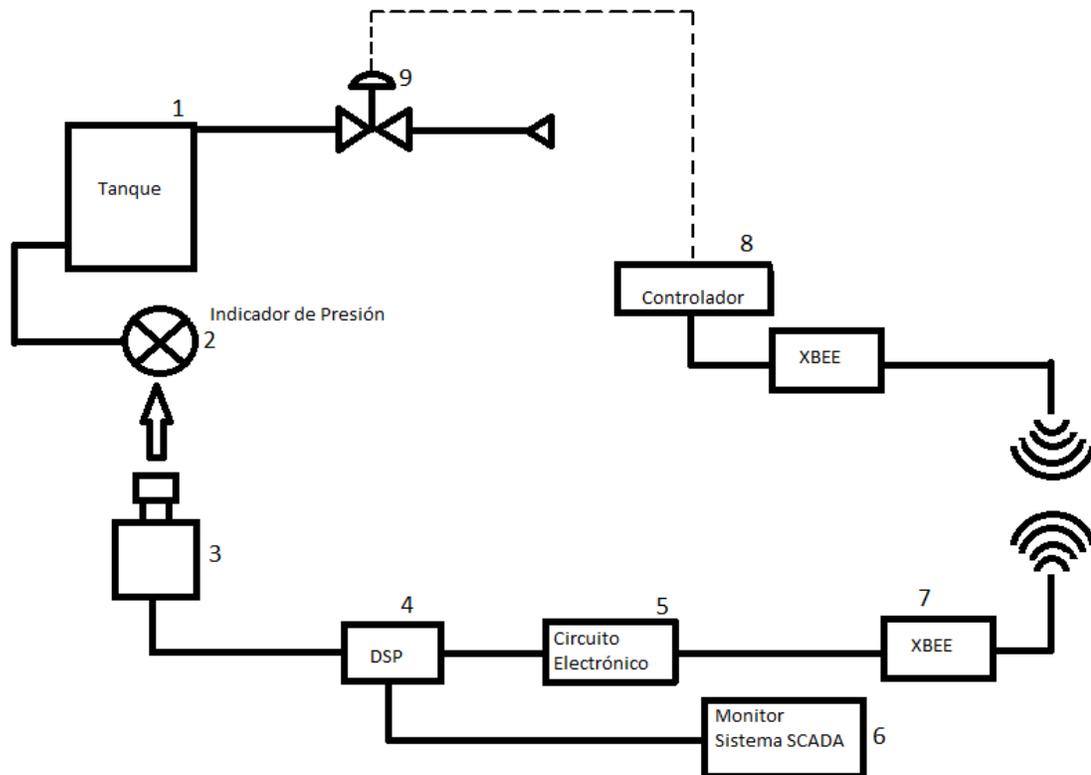


Figura 3.1 Diagrama de la estructura del sistema de control.

1. Tanque de almacenamiento de aire
2. Manómetro
3. Cámara de adquisición de datos
4. Tarjeta DSP
5. Circuito electrónico acondicionador de señales
6. Monitor, sistema SCADA
7. XBEE
8. Controlador
9. Electroválvula

## 9. CONCLUSIONES

1. Después de exponer las capacidades del procesador digital de señales ADSP-BF533 y los requerimientos del algoritmo de reconocimiento de los datos del manómetro implementado en matlab se puede concluir que es posible realizar un sistema de control de presión por visión artificial a través de una DSP que tenga un alto rendimiento y una gran confiabilidad para un posible uso en la industria.
2. La eficiencia del sistema depende de las condiciones de en las cuales este opera, lugares oscuros, con demasiada iluminación, con vapor o suciedades en el aire pueden causar interferencias en el correcto funcionamiento del sistema por esto es necesario acondicionar el área donde se instalara el sistema.
3. El software Visual DSP++ ofrece un entorno de programación robusto y de alta confiabilidad para el desarrollo de los algoritmos necesarios en la implementación del sistema.
4. El sistema requiere realizar los procesos de adquisición, procesamiento, segmentación, descripción, reconocimiento e interpretación con una frecuencia de 5 muestras por segundo, esto con el fin de lograr confiabilidad y estabilidad en el proceso.
5. Los filtros son una parte fundamental en el proceso ya que con estos se logra segmentar los componentes necesarios para la interpretación de los valores que arroja el indicador de presión, también eliminan ruidos en la imagen que pueden ocasionar fallos en el sistema.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Carolina Zuluaga, D. Z. (2012). Adquisición de imágenes a través del sistema embebido ADSP-BF533 de Alalog Devise. *Scientia et technica*, 5-6.
- [2] Eugene Bourdon y la evolución del manometro. (2010). 28.
- [3] Gradc, V. L. (s.f.). Sistema de adquisición de imágenes de baja tasa de transmisión basado en DSP. *Universidad de Sevilla*, 62-63.
- [4] Maduell, E. (2009). *Visión Artificial*. Barcelona.
- [5] MORENO RUIZ, J. C., & GARCIA MAYA, A. F. (Mayo de 2014). *SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE IRIS IMPLEMENTADO EN UN PROCESADOR DIGITAL DE SEÑALES*. Pereira.
- [6] Ogata, K. (1998). Ingeniería de Control Moderado. En K. Ogata , *Ingeniería de Control Moderado* (pág. 1). Minnesota: Prentice-Hall, Inc. A Simon & shuster Company.
- [7] Rey O., W. (2009). Automatización industrial, evolución y retos en una economía globalizada. 7.
- [8] RODRÍGUEZ JÁTIVA, F. A. (2012). ESTUDIO DEL DSP ADZS-BF576 DE ANALOG DEVICES, FAMILIA BLACKFIN Y DESARROLLO DE SUS APLICACIONES. 21.
- [9] Salazar, J. (s.f.). Procesadores digitales de señal (DSP) Arquitecturas y criterios de selección. Cataluña, España.
- [10] SOBRADO MALPARTIDA, E. A. (2003). SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL RECONOCIMIENTO Y MANIPULACIÓN DE OBJETOS . 10.
- [11] Wikipedia. (16 de 01 de 2016). *Mosaico\_de\_Bayer*. Recuperado el 11 de 10 de 2016, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Mosaico\\_de\\_Bayer](https://es.wikipedia.org/wiki/Mosaico_de_Bayer)