



Universidad  
Nacional de San Luis

*Trabajo Final*

*Ingeniería Electrónica con Orientación en Sistemas Digitales*

# Equipo de medición de velocidades de semillas en descargas de silos con visión artificial

**María Valeria González**

Directora: Mg. Ing. Romina Soledad Molina

Co-Directora: Dra. Jesica Gisele Benito

# Introducción

- El presente trabajo consiste en el diseño e implementación de un algoritmo que permita obtener la velocidad de descarga de medios granulares a través de silos y tolvas, mediante la técnica llamada Velocimetría por Imágenes de Partículas.
- Lo que motivó este diseño fue la realización de un estudio en el Depto. de Física de la UNSL, para analizar qué ocurría al variar el ángulo de inclinación de la tolva para distintos tipos de semillas.
- Esto fue el disparador para que se analizara la realización de un experimento a través del procesamiento de imágenes digitales para determinar estas velocidades.

# Objetivos

El objetivo general es analizar e implementar un sistema para obtener la velocidad en la zona de descarga de un silo, haciendo uso de las técnicas de visión artificial.

Objetivos específicos:

- Adecuar el sistema ya existente en el laboratorio de Medios Granulares para la adquisición de los videos.
- Implementar el algoritmo para obtener la velocidad en la región de descarga del silo o boca de la tolva.
- Aplicar el algoritmo para el caso de semillas reales utilizadas en la industria alimenticia, como el mijo y alpiste.
- Aprender a utilizar las librerías de OpenCV para procesamiento digital de imágenes y videos.
- Aprender a utilizar el lenguaje de programación Python.
- Portar la herramienta a la placa de desarrollo PYNQ Z1 de Xilinx para analizar la portabilidad del sistema.

# Formas de medir velocidades: *lagrangiana* y *euleriana*

## Descripción lagrangiana

Se sigue al objeto en movimiento y se computa su posición en el tiempo.

## Descripción euleriana

El observador se ubica en un punto fijo en el espacio y se computa el movimiento de los objetos que pasan por ese punto fijo.

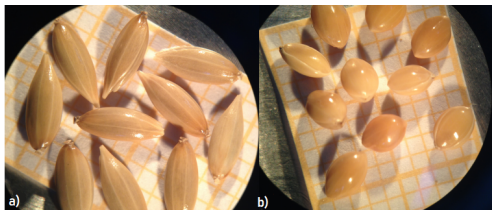


### Lagrangiana



### Euleriana

# Silo y semillas



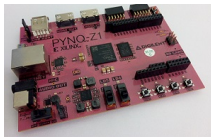
# Herramientas utilizadas

Para poder realizar la técnica PIV se utilizaron las siguientes herramientas.

- Software



- Hardware



## Diseño e implementación

La técnica de **velocimetría por imágenes de partículas (PIV)** se basa en filmar videos con una cámara digital y determinar sobre la base de dos imágenes capturadas en un intervalo de tiempo conocido, el desplazamiento de las partículas en movimiento.

El algoritmo está dividido en tres etapas principales:

- *Pre-procesamiento*: Mejorar la calidad de las imágenes
- *Procesamiento*: Determinar el desplazamiento, dirección y sentido de las partículas.
- *Post-procesamiento*: Corrección de los datos obtenidos y muestra del resultado mediante un mapa de vectores.

# Diseño e implementación

## ***Pre-Procesamiento***

El fin de la etapa de pre-procesamiento es mejorar la calidad y aspecto del video debido a las condiciones experimentales.

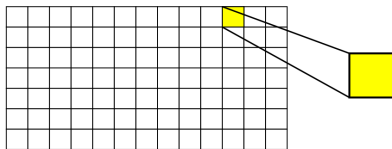
- Ajustar el área de trabajo.
- Corregir problemas de iluminación mediante la conversión de espacio de color.
- Convertir el video a escalas de grises.



# Diseño e implementación

## ***Procesamiento***

Los dos primeros frames del video son divididos en ventanas de interrogación.



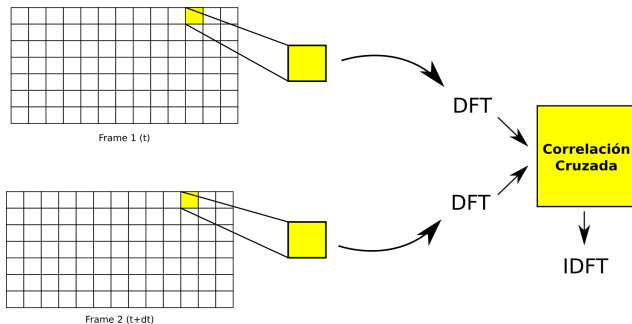
Frame 1 (t)



Frame 2 (t+dt)

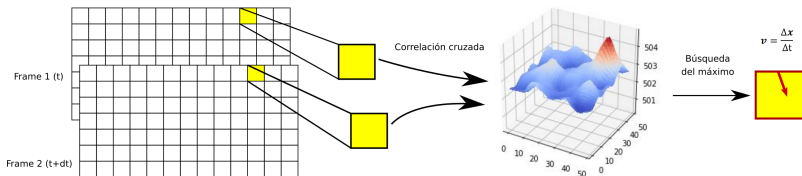
## Diseño e implementación

Luego a cada ventana de interrogación de cada frame se le aplica la Transformada Rápida de Fourier, para luego calcular la correlación cruzada.



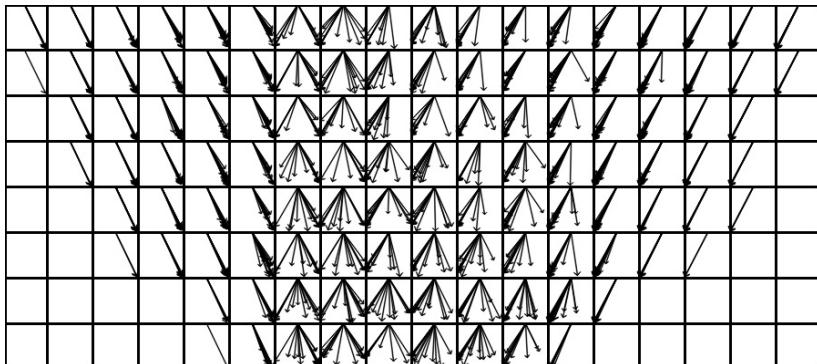
# Diseño e implementación

Una vez obtenido el plano de correlación cruzada se obtiene el valor máximo de correlación y el punto donde ocurrió, luego se calcula el desplazamiento de las semillas.



## Diseño e implementación

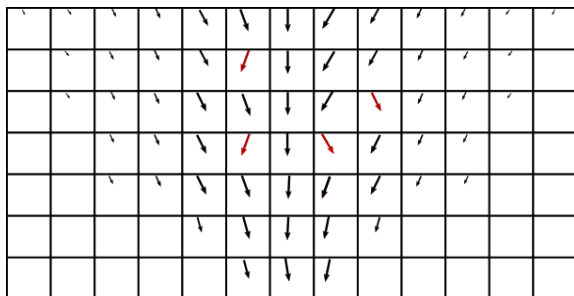
Al realizar este procesamiento para todas las ventanas y todos los par de frames a lo largo del video, y posterior depuración se obtiene:





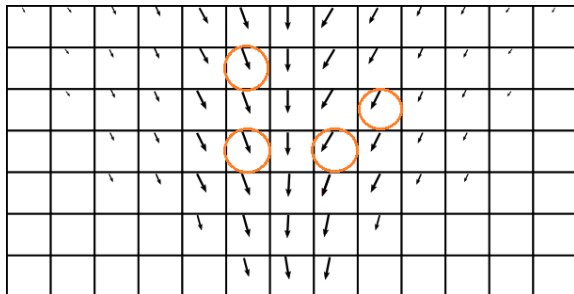
# Diseño e implementación

## Vectores erróneos



# Diseño e implementación

Vectores corregidos



## Resultados experimentales

- Dos tipos de semillas: mijo y alpiste.
- Cámara digital, en una resolución de 900x400 píxeles a 100 fps aproximadamente.
- Sistema de iluminación compuesto de dos lámparas led de 19 W y 2300 Lm ubicadas a 5cm de ambos lados de la boca de salida del silo.
- El sistema, silo/cámara/lámparas se cubrió con una tela negra para evitar fluctuaciones en la iluminación.
- CPU Core i5 2,7GHZ 8GB RAM.
- Python 2.7.
- OpenCV 3.3.

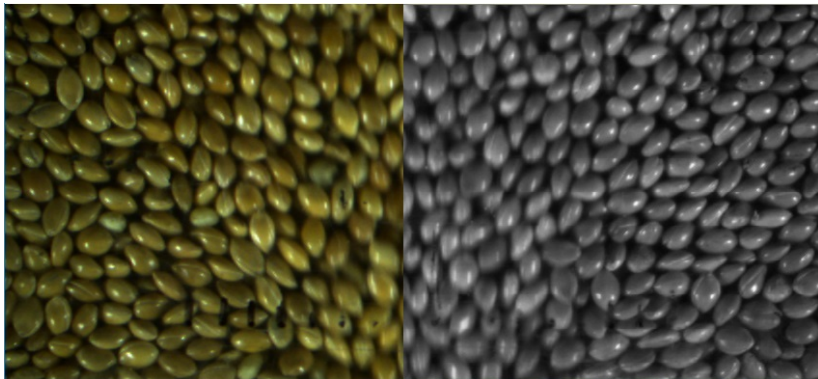


# Resultados experimentales

**MIJO**

***Pre-Procesamiento***

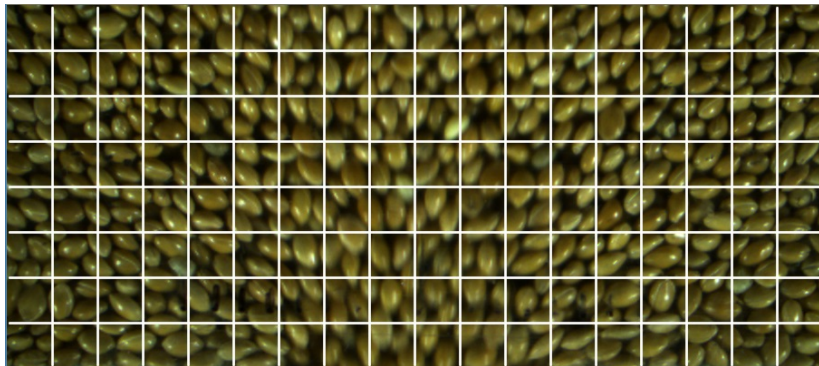
Imagen de semillas de mijo a color y en escala de grises.



# Resultados experimentales

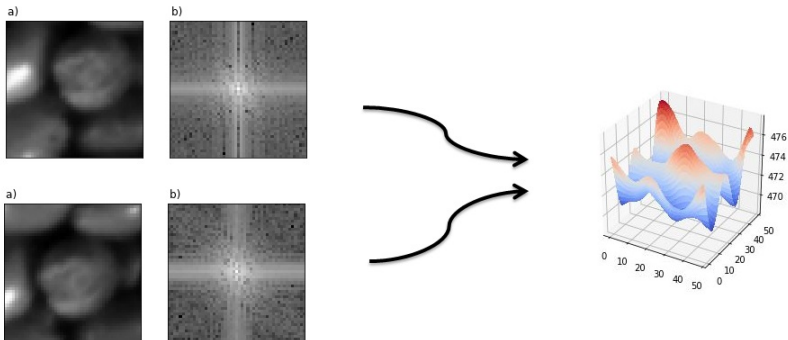
## *Procesamiento*

Imagen de semillas de mijo dividida en ventanas de interrogación.



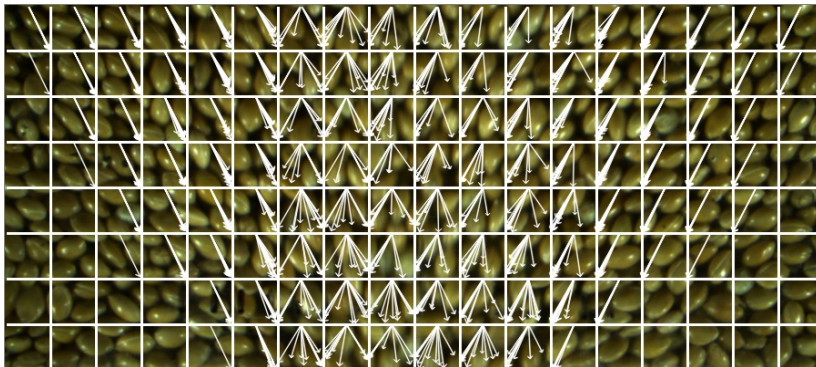
# Resultados experimentales

Transformada Rápida de Fourier de dos ventanas ubicadas en una misma posición de dos tiempos distintos.



## Resultados experimentales

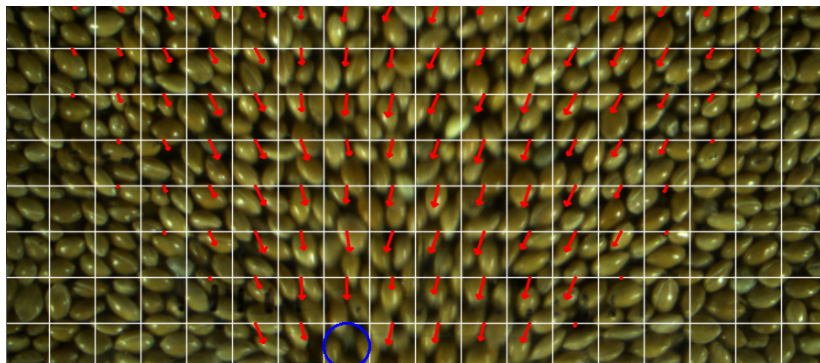
Resultado al procesar todas las ventanas en cada par de frames a lo largo del video.



# Resultados experimentales

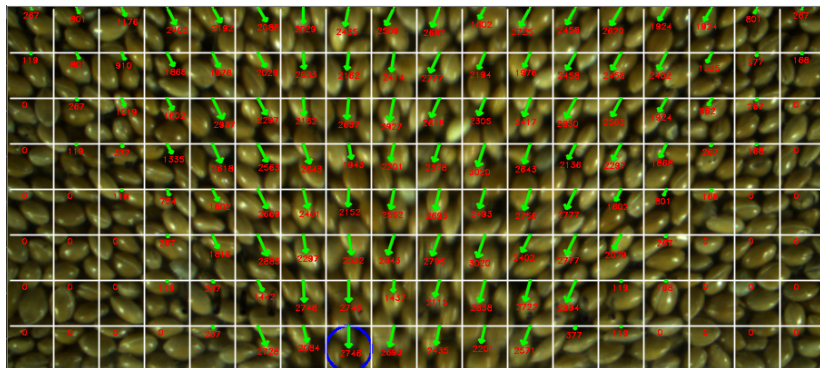
## *Post-Procesamiento*

Luego de la depuración.



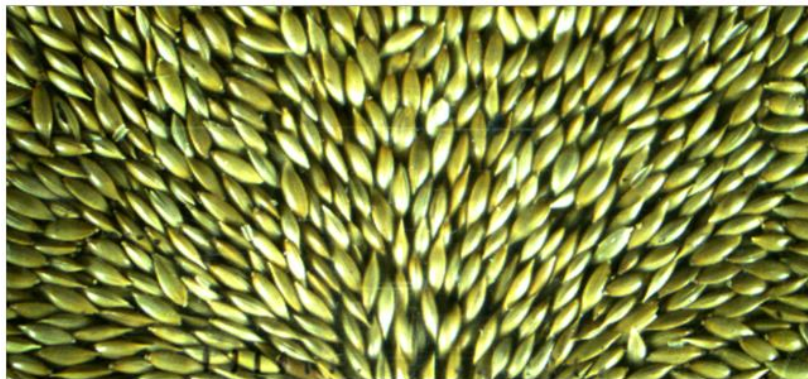
# Resultados experimentales

Resultado final.

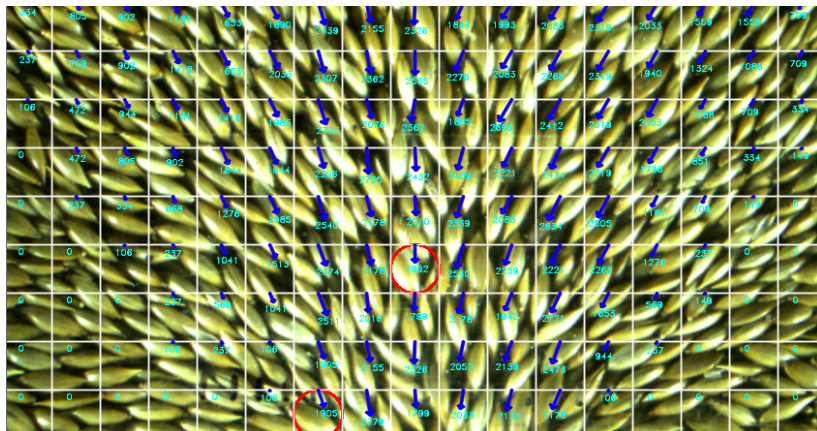


# Resultados experimentales

## ***ALPISTE***



# Resultados experimentales





# Resultados experimentales

## ***Portabilidad de la herramienta a un sistema embebido***

Para analizar la portabilidad del algoritmo a un sistema embebido se utilizó la placa de desarrollo PYNQ Z1.

Tiempos de ejecución del algoritmo en las diferentes tecnologías

<b>Tecnología</b>	<b>Tiempo de ejecución [minutos]</b>
Intel Core i5	0.4
PYNQ-Z1	4.7

El procesamiento en el Core i5 es un orden de magnitud menor en comparación a la PYNQ-Z1 debido a que la frecuencia de trabajo del procesador es mayor (2.7 GHz).

## Conclusiones

- El aporte de este trabajo se centró en resolver la problemática de la determinación del perfil de velocidades de semillas en la tolva de salida de un silo a través del procesamiento digital de video.
- La Técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas presentó la gran ventaja de poder determinar desplazamientos sin necesidad de realizar un seguimiento temporal de cada partícula ni la necesidad de la utilización de marcadores.
- La programación e implementación del sistema en el lenguaje de programación Python utilizando librerías de OpenCV, posee múltiples ventajas en el momento de migrar entre plataformas de desarrollo que soporten este lenguaje de programación.
- El mismo procesamiento digital de video se migró a nuevas tecnologías relacionadas con Sistemas en Chip: PYNQ-Z1, permitiendo efectuar el primer análisis de tiempos de ejecución.

# Trabajos futuros

- Se utilizarán las ventajas de la tecnología Zynq, debido a que la lógica programable que se encuentra en estos dispositivos permite la aceleración del algoritmo.
- A través de la lógica programable sería posible realizar la adquisición de videos y posterior procesamiento y detección del perfil de velocidades en tiempo real.
- Lograr la determinación del perfil de velocidades de descarga para el silo completo, no solo en la zona cercana a la tolva de salida del mismo.
- Comparar los desplazamientos medidos con los obtenidos mediante otras técnicas (seguimiento de semillas pintadas?).

*Muchas*  
GRACIAS