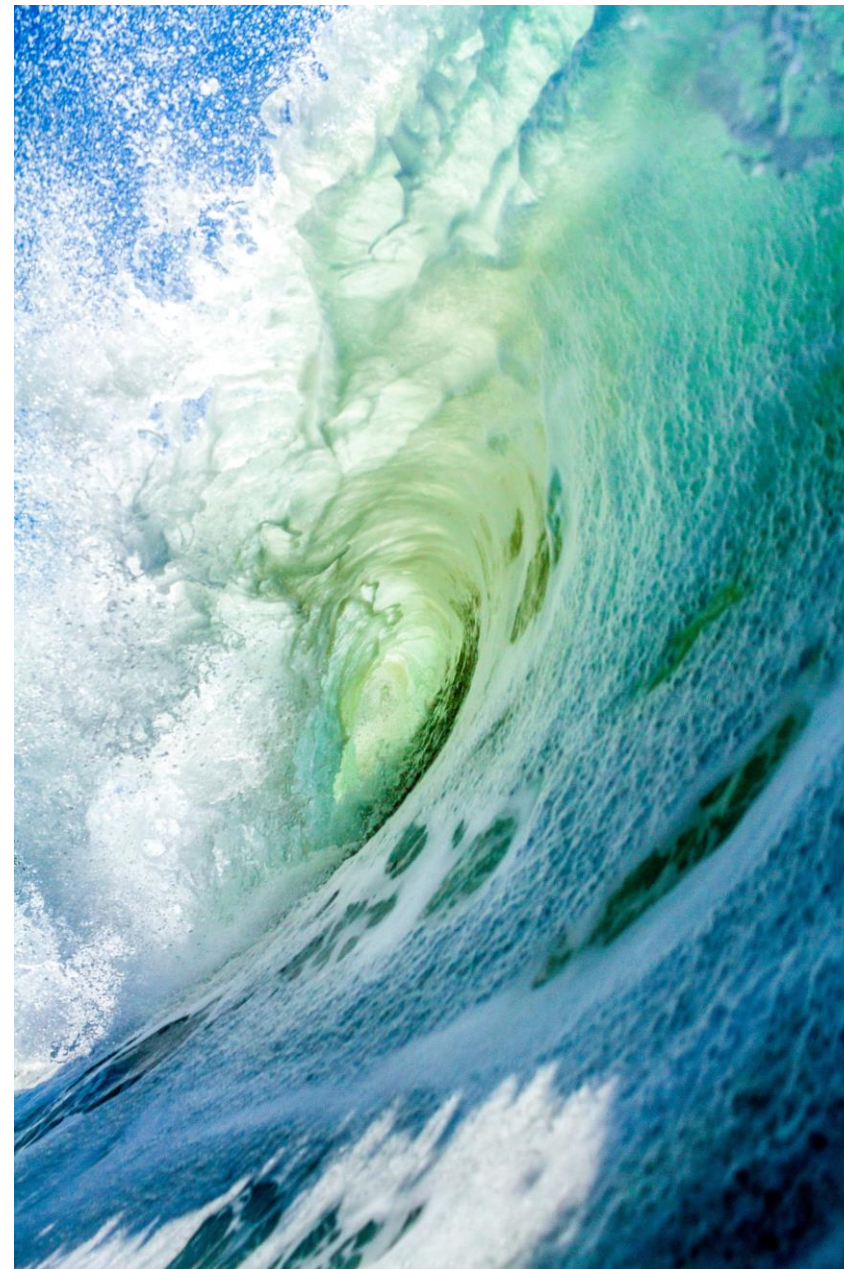


Detecció automàtica de defectes de soldadura mitjançant l'anàlisi de *visual transformers* i tècniques de *time series imaging*

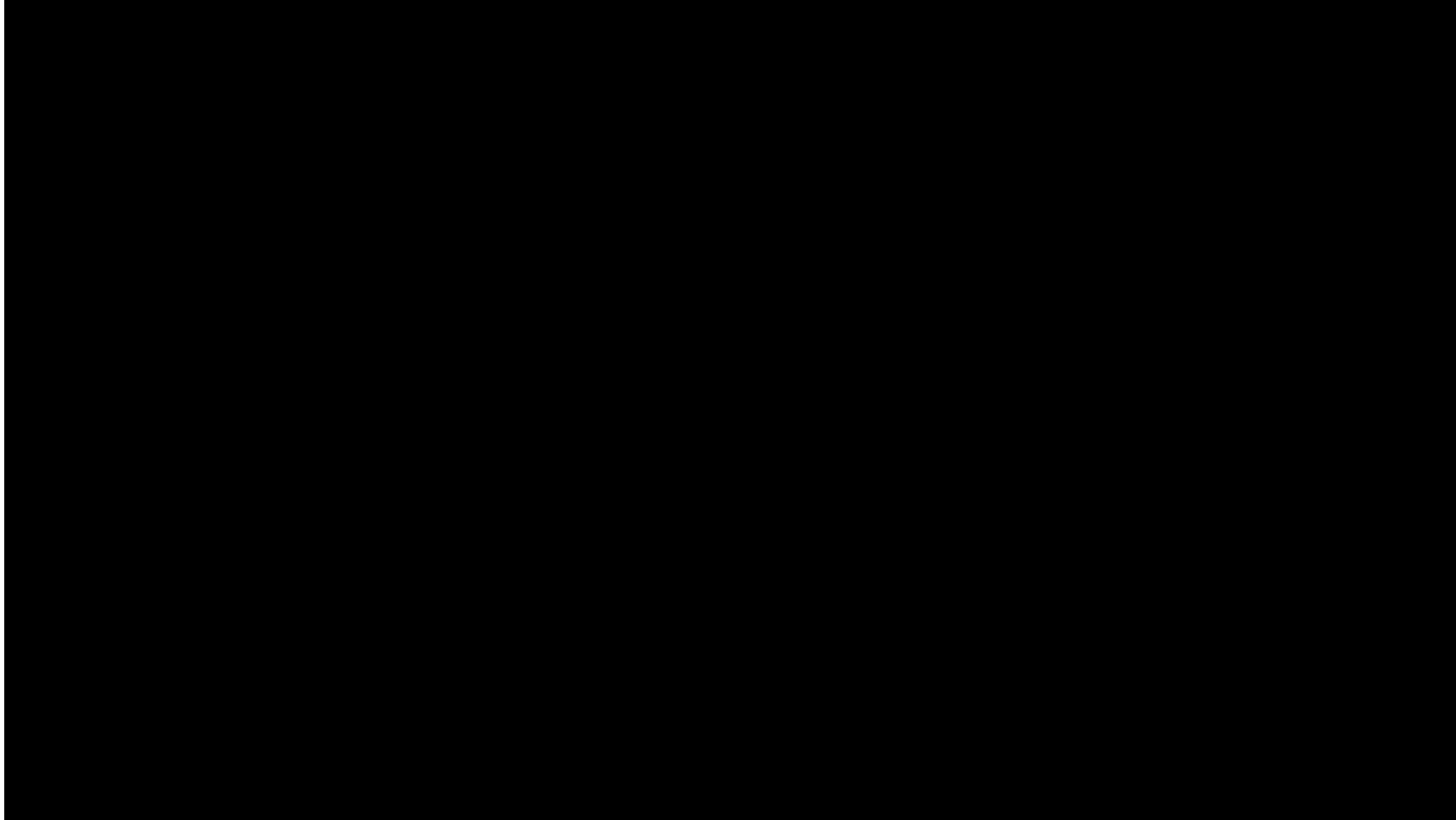
Christian Velasco-Gallego

Juny 2024

Nom Consultor: David Isern Alarcón
Nom Professor responsable de l'assignatura: Friman Sánchez Castaño



Introducció



L'estructura del casc d'un vaixell és constituït per un conjunt de peces d'acer soldades. Per aquesta raó, el procés de soldadura és considerat com a una de les activitats principals en el procés de construcció d'un vaixell.

El procés de soldadura representa aproximadament el 70% de la càrrega de treball en el procés de construcció d'un vaixell. A més, representa el 40% dels costos totals.

Accidents durant el procés de soldadura

THE DANGERS OF MARITIME WELDING

By **Scott Krist** | 09/26/2022 | **Maritime Accidents**

Maritime welding, also known as hyperbaric welding, can be one of the most lucrative occupations that do not require a college degree. However, underwater welding accidents are a frequent occurrence on oil platforms, ships, and underwater construction sites due to the dangers of maritime welding.

Text obtained from <https://www.houstoninjurylawyer.com/the-dangers-of-maritime-welding/>.

Fire caused while welding on board cargo vessel

by The Editorial Team — May 30, 2017 in Accidents

Text obtained from <https://safety4sea.com/fire-caused-while-welding-on-board-cargo-vessel/>.

Welding job on board ignites nearby combustible, causing injury

by Mariska Buitendijk | Nov 26, 2021 | Maritime accidents, News

Text obtained from <https://swzmaritime.nl/news/2021/11/26/welding-job-on-board-ignites-nearby-combustible-causing-injury/>.

Shipyard worker receives electrical shock

What happened

A shipyard worker received a serious electrical shock onboard a vessel in dry dock. The incident occurred when a shipyard welding team were setting up equipment outside on the main deck.

Text obtained from <https://www.imca-int.com/safety-events/shipyard-worker-receives-electrical-shock/>.

Safety Event

Published: 8 April 2021

Download:  IMCA SF 10/21

Relevant life-saving rules:

[Energy Isolation](#)

Fishing Boat Explosion caused by Welding Equipment

by **Eric Rhine** | May 1, 2024 | **Maritime Law, Personal Injury**

The Honolulu Fire Department has finished its investigation into the **explosion on the fishing boat KIM THU** on April 26, 2024. An explosion occurred on the fishing boat while it was docked at Pier 36 in Honolulu, Hawaii. Five crew members were burned during the explosion. Following an investigation, the HFD believes that welding equipment near the vessel ignited diesel vapors from the vessel's fuel tank.

Text obtained from <https://www.spaglaw.com/blog/2024/05/fishing-boat-explosion-caused-by-welding-equipment/>.

Pregunta de recerca

Com es pot automatitzar el procés de soldadura mentre es garanteix la seva qualitat?

Desenvolupament d'un detector automàtic de defectes de soldadura a través de la implementació de tècniques de *time series imaging* i *visual transformers*.

Objectius

- Desenvolupar una revisió de l'estat de l'art crítica sobre estudis existents relacionats amb l'aplicació de la intel·ligència artificial per a la identificació de defectes de soldadura.
- Analitzar la importància d'implementar intel·ligència artificial per a la detecció de defectes de soldadura.
- Avaluar la possibilitat d'utilitzar les següents tècniques de *time series imaging*: 1) *Gramian Angular Field*, 2) *Recurrence Plots* i 3) *Markov Transition Fields*.
- Considerar la implementació de *image classifiers* conjuntament amb tècniques de *time series imaging*.
- Implementar un cas d'estudi a fi d'avaluar el rendiment de la metodologia proposada i obtenir conclusions principals.

Planificació del TFG

Data d'inici

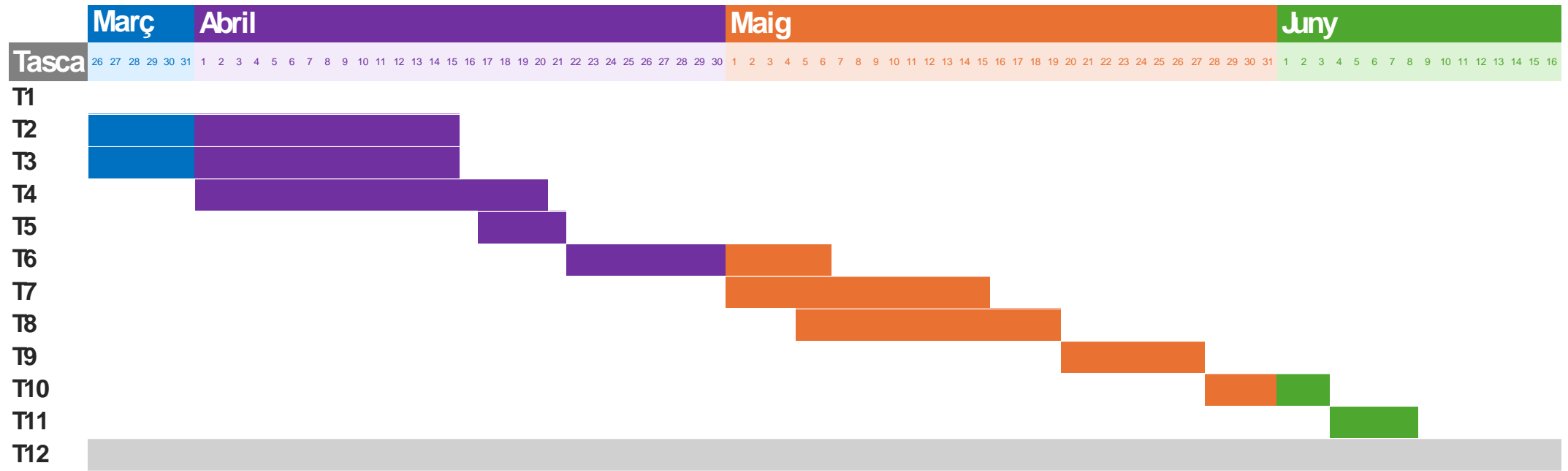
Març 2024

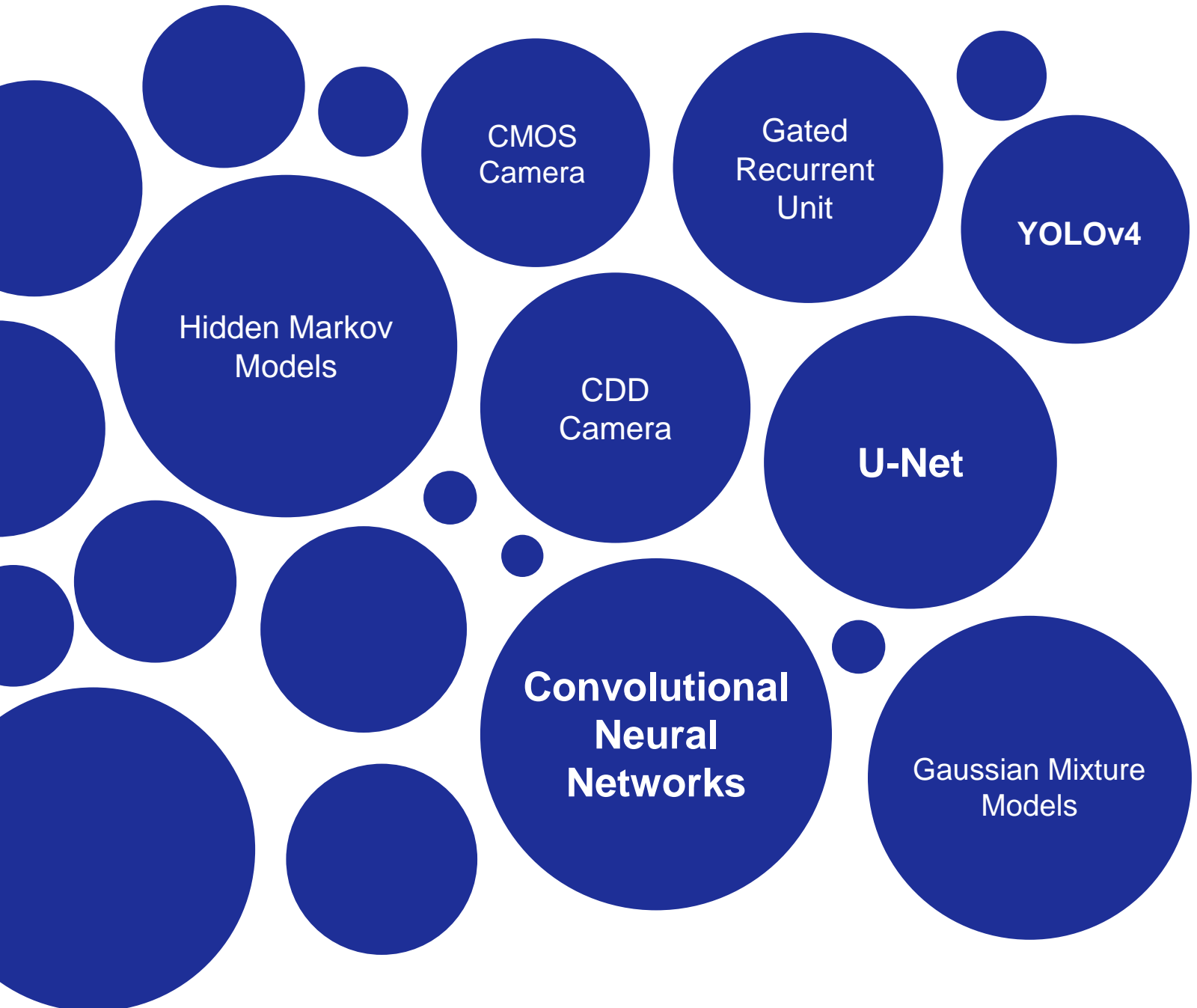
Data de finalització

Juny 2024

Nombre de tasques

12



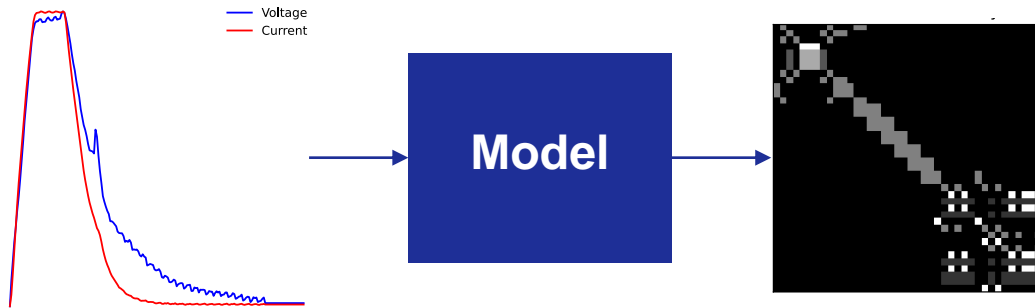


Revisió crítica de l'estat de l'art

- Hi ha múltiples estudis que consideren l'aprenentatge profund per a la detecció de defectes de soldadura.
- La majoria d'estudis contemporen únicament imatges de soldadura que han estat obtingudes durant el procés de soldadura.
- No hi ha cap evidència segons el coneixement de l'estudiant que s'hagi aplicat els *visual transformers* en combinació amb tècniques de *time series imaging*.

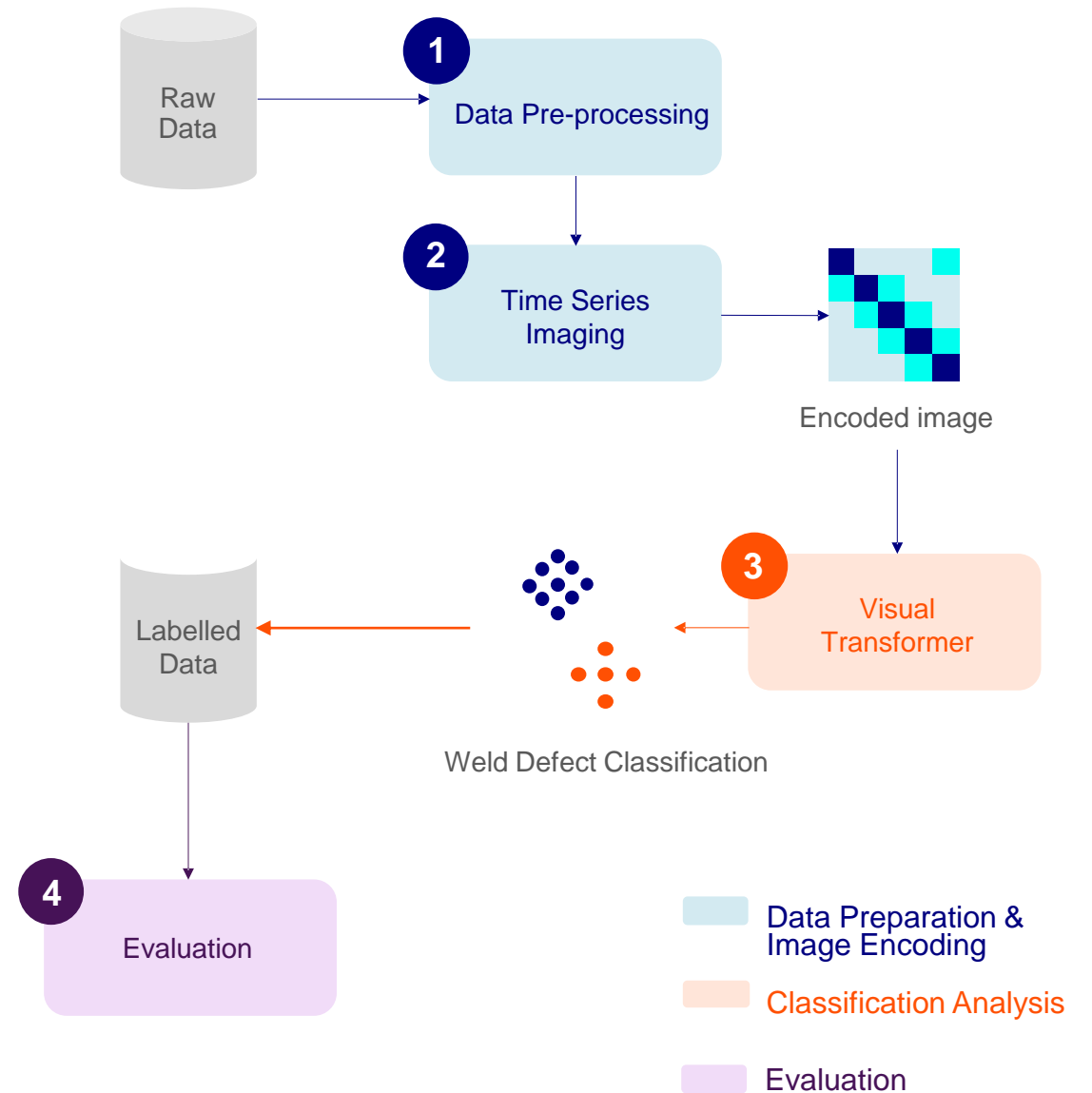
Metodologia

Per què *Time Series Imaging*?



TSI can reveal certain fault features and patterns that cannot be extracted from the original time-series signal — Fahim et al. (2021).

- Pot **extreure i resumir les característiques** principals de la sèrie temporal original.
- Els ***imatge classifiers*** poden ser explorats per a la tasca de detecció de defectes de soldadura.
- La combinació de tècniques de *times series imaging* amb *visual transformers* pot derivar en una **millora en la precisió**.



Cas d'estudi i anàlisi exploratori de les dades

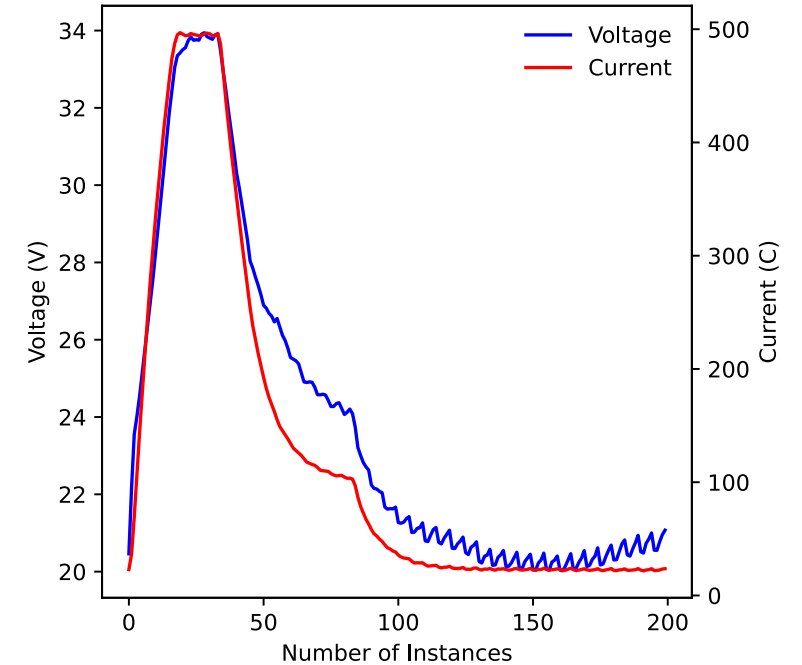
Taula 1. Característiques principals del conjunt de dades a analitzar.

Nombre d'instàncies	209185
Nombre de paràmetres	2
Paràmetres	Voltatge i amperatge
Tipus de dades	Numèrica continua
Freqüència de recol·lecció	100kHz
Màxim error permès	0.5%
Categories	0: mala qualitat 1: bona qualitat -1: N/A

Taula 2. Tipus de categories.

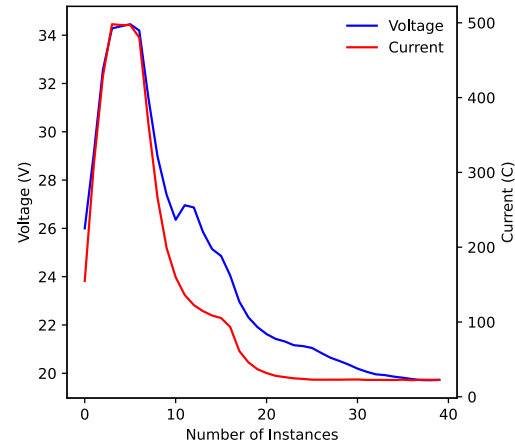
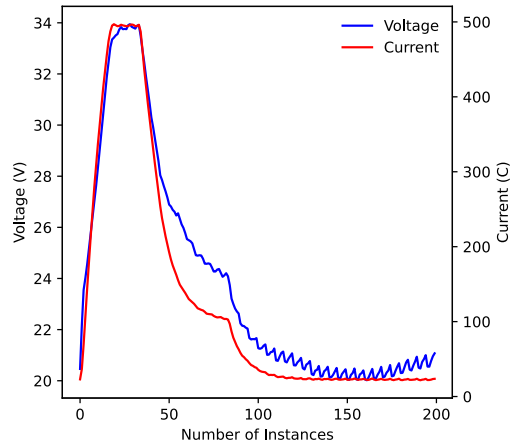
Categoria	Descripció	Nombre d'instàncies
0	Mala qualitat	49742
1	Bona qualitat	46666
-1	N/A	112777

Exemple d'un procés de soldadura de mala qualitat

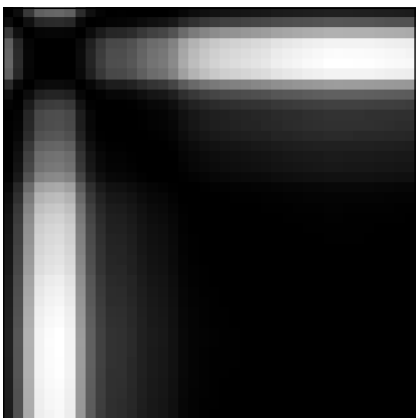


Preprocessament de les dades i codificació a imatges

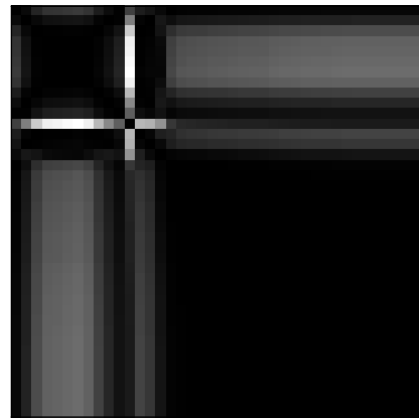
Downsampling



Join Recurrence Plot Image Encoding

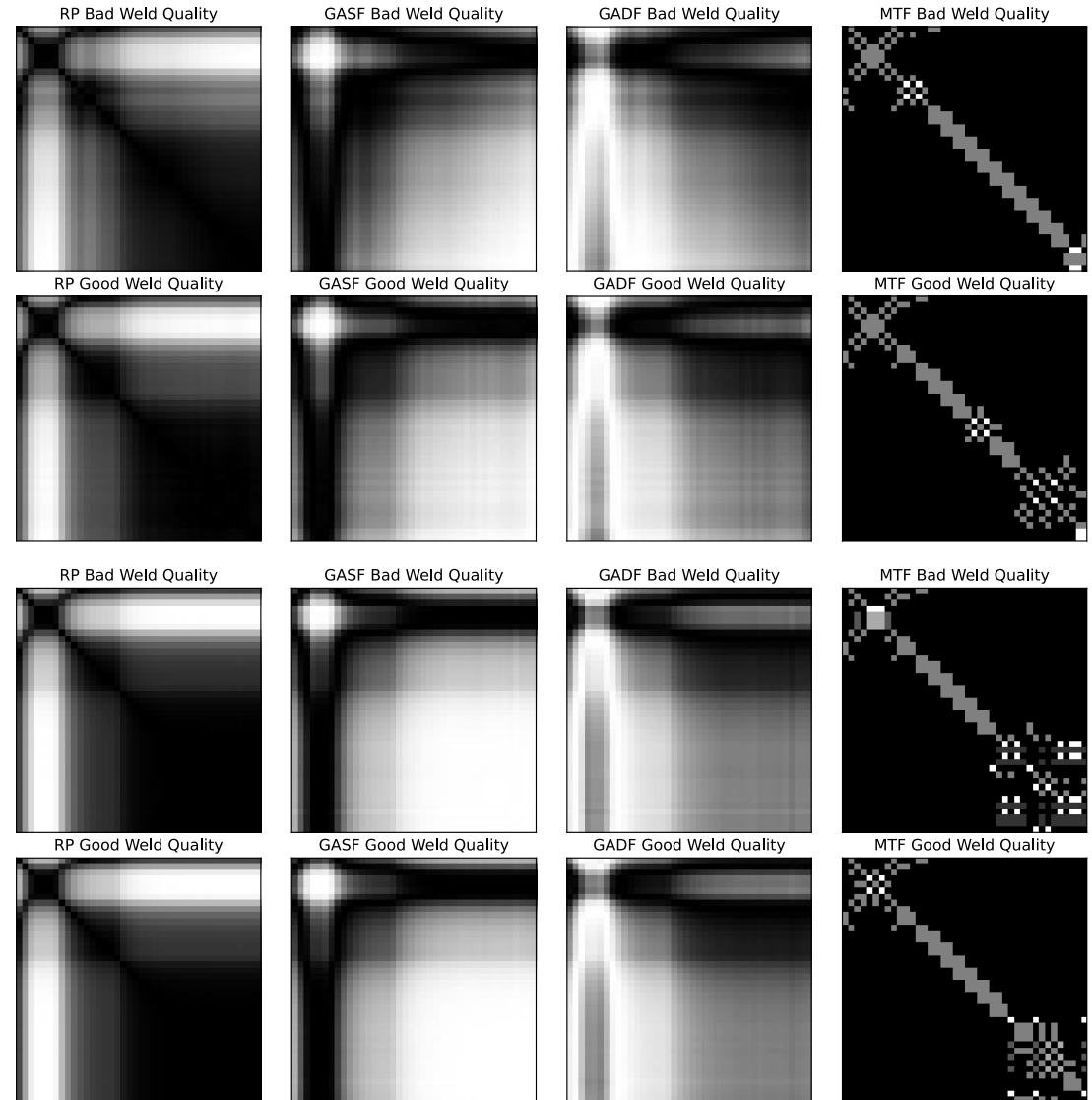


Mala qualitat



Bona qualitat

Univariate Image Encoding (Voltage [Files 1-2] Amperatge [Files 3-4])



Configuració de la xarxa neuronal i resultats principals

Taula 3. Configuració de l'arquitectura del ViT.

Input Shape	n_images x 40 x 40
Patch Size	4
Projection Dimension	64
Nombre de Heads	4
Nombre de Transformer Layers	8
MLP Head Units	[2048, 1024]
Output Shape	2

Taula 4. Configuració dels paràmetres d'optimització i entrenament.

Optimiser	Adam
Learning Rate	0.001
Weight Decay	0.0001
Loss Functions	Binary CrossEntropy
Evaluation Metric	Binary Accuracy
Batch Size	256
Epochs	10

Taula 5. Resultats principals dels mètodes de codificació utilitzats.

Image Encoding Method	Accuracy	Training time [s/epoch]
RP Current	0.52	570.4
RP Voltage	0.52	578.3
GASF Current	0.55	598.8
GASF Voltage	0.66	567.7
GADF Current	0.55	619.9
GADF Voltage	0.71	623.0
MTF Current	0.52	551.6
MTF Voltage	0.68	547.1
MTM Current	0.52	103.6
MTM Voltage	0.63	110.5
JRP (Multivariate)	0.52	506.4
MTM (Multivariate)	0.52	103.2

Estudi comparatiu i discussió

Taula 6. Resultats principals de l'estudi comparatiu.

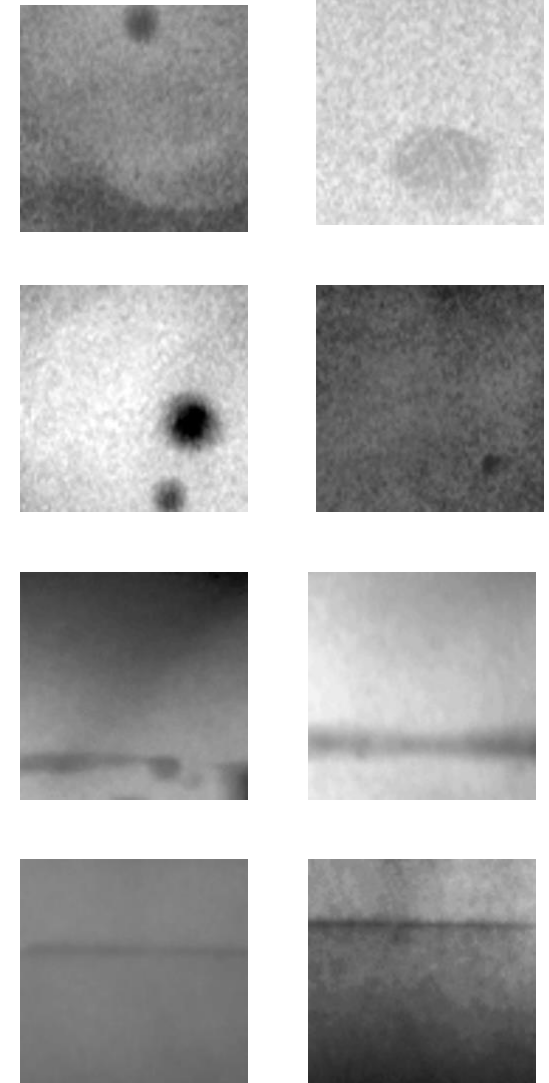
Model	Accuracy
FFN (Voltatge)	0.55
FFN (Amperatge)	0.52
LSTM	0.52
1D-CNN	0.77
GADF Voltage 2D-CNN	0.75
Model proposat	0.71

Discussió dels resultats principals

- Els resultats indiquen que **els mètodes de codificació de sèries temporals a imatges poden millorar el rendiment dels models** en la tasca de detecció de defectes de soldadura.
- **GADF és el mètode de codificació que ha proporcionat millors resultats en termes de precisió (0.71 d'accuracy)**. Malgrat això, si també es considera el cost computacional, es pot observar que la millor opció seria el MTM (0.63 d'accuracy i 110.5 segons per *epoch* en la fase d'entrenament).
- **El voltatge presenta informació més rellevant que l'amperatge** per a la tasca efectuada.
- Encara que el *visual transformers* presenta resultats prometedors, **la seva aplicació no és eficient en termes de cost computacional** si es compara amb les *Convolutional Neural Networks*.

Conclusions

- El procés de soldadura és certament rellevant en el sector marítim.
- L'estudi i desenvolupament de noves tècniques és necessari per a garantir la qualitat durant el procés de soldadura. D'aquí que l'exploració de tècniques d'intel·ligència artificial en aquest context siguin necessari.
- En aquest estudi es proposa una metodologia híbrida que contempla tècniques de *time series imaging* amb *visual transformers*.
- Un total de quatre tècniques de *time series imaging* han estat explorades: 1) *Gramian Angular Field*, 2) *Markov Transition Field*, 3) *Recurrence Plot* i 4) *Markov Transition Matrix*.
- S'ha implementat un cas d'estudi a fi d'avaluar el rendiment de la metodologia proposada. El conjunt de dades considerat presenta més de 200.000 cicles de soldadura. També considera dos tipus de paràmetres: voltatge i amperatge. S'ha aplicat una anàlisi de classificació a fi de determinar els diferents cicles de soldadura en funció de la seva qualitat (qualitat bona i dolenta).
- Els resultats indiquen que **les tècniques de *time series imaging* poden millorar la precisió** de la tasca dels defectes de soldadura. **GADF ha estat la tècnica de *time series imaging* que ha proporcionat millors resultats en termes de precisió** (0.71 de precisió). **El voltatge presenta informació més rellevant** si es compara amb el paràmetre d'amperatge. **La implementació del *Visual Transformers* no és factible** en termes de cost computacional si es compara amb les *Convolutional Neural Networks* per al cas d'estudi plantejat.



Conclusions: lliçons apreses i assoliment dels objectius

Lliçons apreses

- El procés de soldadura és un procés complex.
- L'aplicació de la intel·ligència artificial és un dels factors més importants a fi d'automatitzar els processos de soldadura.
- Hi ha hagut certa dificultat en obtenir un conjunt de dades adient per a l'elaboració del cas d'estudi.
- És possible que els visual transformes no tinguin un rendiment tan elevat com l'estudiant es pensava.

Seguiment de la planificació

- L'estudiant considera que el pla seguit ha estat l'adequat.
- 9 de 12 tasques han finalitzat com s'esperaven. Només 3 de 12 tasques han sofert un retard en l'entrega.

Assoliment dels objectius

- 6 dels 6 objectius principals han estat assolits de manera satisfactòria.
- 3 de 3 objectius secundaris han estat assolits de manera satisfactòria.

Treball futur

Combinació de tècniques de codificació d'imatges

En aquest estudi s'han analitzat els mètodes de codificació de manera independent. Malgrat això, és possible que una combinació d'aquestes permeti una millora en el rendiment del model.

Optimització dels hiperparàmetres de les xarxes neuronals

En aquest estudi s'ha aplicat avaluació heurística per a determinar els diferents hiperparàmetres dels models. Malgrat això, és essencial emprar algoritmes d'optimització d'hiperparàmetres, com ara el *Particle Swarm Optimization* i el *Whale Optimisation Algorithm*.

Elaboració d'un model multimodal

En aquest cas únicament s'ha fet ús d'un conjunt de dades d'una única font de recollida. A més, únicament s'han tractat sèries temporals. Malgrat això, l'estudiant creu que seria útil fer ús també d'imatges de soldadura i crear un model multimodal que permeti elaborar la tasca mitjançant la consideració de diverses fonts.

Gràcies!

All the code of this study is
available in
[https://github.com/cvegas00/
WeldingDefectClassification](https://github.com/cvegas00/WeldingDefectClassification).

For any question, please write
to cvelascog@uoc.edu.