



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

Artículo Académico Previo a la Obtención del Título de Ingeniera en Electrónica E Instrumentación

“PREDICTION OF CALIBRATION PARAMETERS OF THE OXYGEN SATURATION ESTIMATION EQUATION BY OPTICAL RECORDING ON SMARTPHONES”

Autor:

Caballeros Tejada Daniel Esteban

Ing. David R. Rivas, PhD. *Tutor*





Topics

Topics of interest for submission include, but are not limited to:

Decision Analysis and Methods
 Information Processing and Engineering
 Intelligent Systems
 Manufacturing Systems
 E-Business and E-Commerce
 Healthcare Systems and Management
 Human Factors
 Quality Control and Management
 Reliability and Maintenance Engineering
 Safety, Security and Risk Management
 Finance and Risk Management
 Revenue Management
 Green technology and productivity
 Knowledge-based Systems
 Mechatronics
 Multimedia & Cognitive Informatics
 Neural Networks
 Parallel Processing

Important Dates

- **Submission Deadline**
February 20, 2021
- **Notification Date**
March 5, 2021
- **Registration Deadline**
March 15, 2021
- **Conference Dates**
April 2-4, 2021

2021 2nd International conference on Industrial Engineering and Artificial Intelligence (IEAI 2021)

Osaka, Japan | 2-4 April, 2021

Important Dates

- IEAI 2021 is supported by ACM Singapore Chapter.
- All peer reviewed and accepted papers, after presentation, will be published into the conference proceedings, which will be indexed by Ei Compendex and Scopus, and to be submitted and reviewed by Thomson Reuters Conference Proceedings Citation Index (CPCI).
- Prof. Chen-Fu Chien from National Tsing Hua University in Taiwan, Prof. Maged M. Dessouky from University of Southern California in USA, and Prof. Yang XU from Peking University in China will be the keynote speakers.

Submission Methods

- Email: ieai@acm-sg.org
- Electronic Submission System:
<http://www.easychair.org/conferences/?conf=ieai2021>

Contact Information

Conference Secretary: Ms. Amy Lu
 E-mail: ieai@acm-sg.org
 Tell: +86-021-59561560
 Monday-Friday 9:00-17:30 (UTC/GMT+08:00)

Sponsored By



Indexed By:



Scopus

Prediction of Calibration Parameters of the Oxygen Saturation Estimation Equation by Optical Recording on Smartphones

Prediction Parameters %SpO₂ by Optical Recording

DANIEL CABALLEROS-TEJADA*

Carrera de Electrónica e Instrumentación, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador

decaballeros@espe.edu.ec

DAVID RIVAS-LALALEO

Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador

drivas@espe.edu.ec

This paper demonstrate the calculate for calibration parameters of the Percent Oxygen Saturation (%SpO₂) estimation equation by means of a multiple linear regression type supervised machine learning algorithm with the objective of being able to use a smartphone as an oximeter, for this a training and test data set composed of predictor variables representing the characteristics of the smartphones used in this development is used, in addition to the statistical parameters extracted from two thousand videos, predicting values of %SpO₂ with an error of less than 2% with respect to a standard oximeter.

CCS CONCEPTS • Computing methodologies → Machine learning → Learning paradigms → Supervised learning → Supervised learning by regression

Additional Keywords and Phrases: Oxygen Saturation, machine learning, datasets, video, smarthphone

ACM Reference Format:

Daniel Caballeros-Tejada and David Rivas-Lalaleo. 2021. Prediction of Calibration Parameters of the Oxygen Saturation Estimation Equation by Optical Recording on Smartphones. In IEAI '21: 2nd International conference on Industrial Engineering and Artificial Intelligence, April 02–04, 2021, Osaka, Japon. ACM, New York, NY, USA, 10 pages.





AFECCIONES PULMONARES

$\%SpO_2 < 90\%$



RESPIRACIÓN ASISTIDA



Infecciones
Respiratorias
Agudas

Cianosis
Central

Covid-19



Oxímetro de pulsos.



Teléfonos Inteligente



Inteligencia artificial

Desarrollar un algoritmo que permita predecir los parámetros de calibración de la ecuación estimativa de saturación de oxígeno en una aplicación para teléfonos inteligentes.

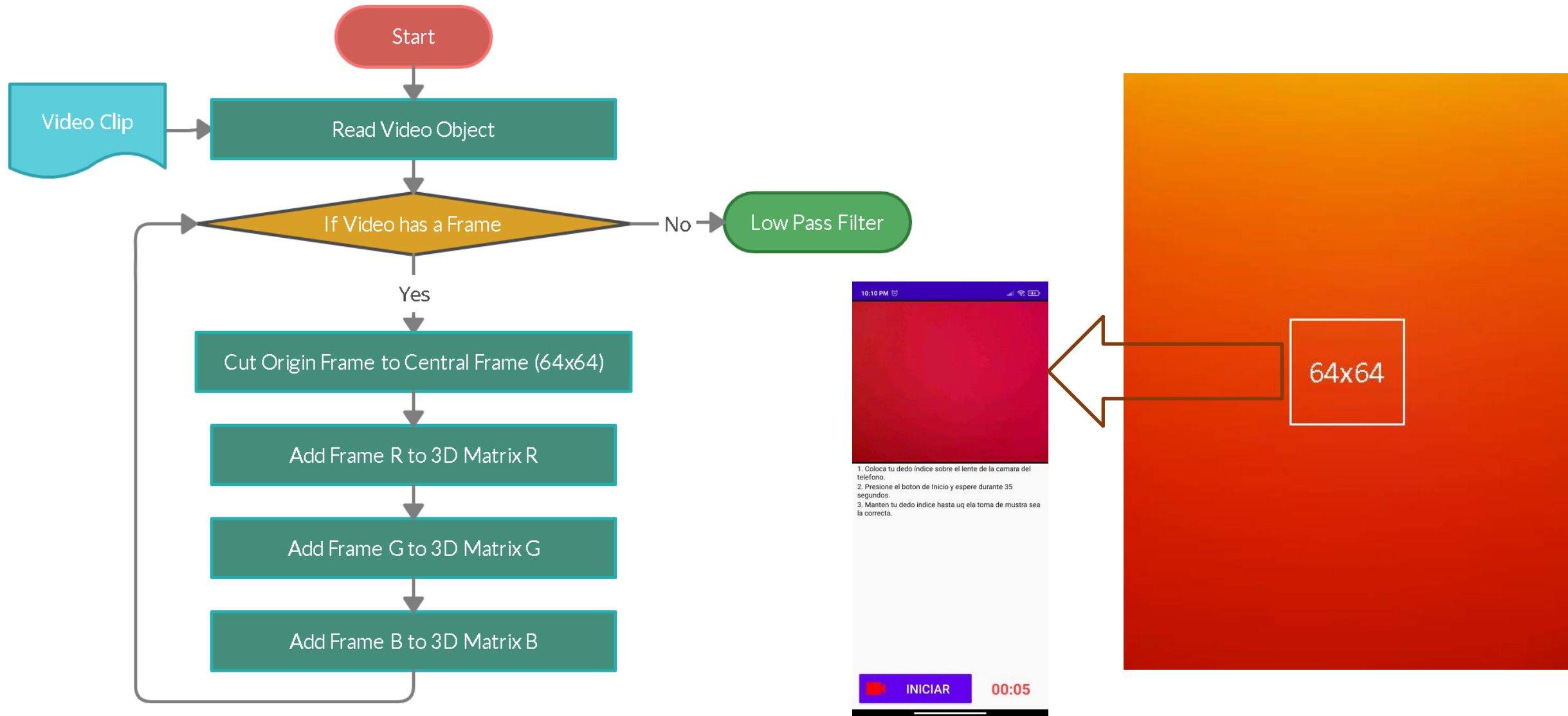
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar el principio de funcionamiento de un oxímetro de pulsos.
- Desarrollar el algoritmo de cuantificación de saturación de oxígeno.
- Diseñar e implementar una aplicación Android que incluya los algoritmos de cuantificación para registrar información relevante en una base de datos.
- Desarrollar un algoritmo predictor basado en inteligencia artificial para determinar los parámetros de calibración de los algoritmos de cuantificación.
- Implementar una aplicación Android que integre los algoritmos de cuantificación y predicción.

Los algoritmos basados en inteligencia artificial para predecir los parámetros de calibración de la ecuación estimativa de saturación de oxígeno producen un error inferior al 2% con respecto a un oxímetro de pulso patrón.



PROCESAMIENTO DE VIDEOS



Recorte de n-frame iniciales: Reduce la saturación de la señal causada por el disparo inicial del flash, común en algunos modelos de smartphone.

Filtro pasa bajo: Reduce el ruido eléctrico o las típicas vibraciones de las manos al grabar vídeo.

Filtro Espacio-Temporal: Mejorar la calidad de la señal eligiendo una ventana tridimensional de valores que se promedian entre sí, el mayor predominio para el filtrado está en el filtro temporal con respecto al espacial.

$$\%SpO_2 = A - B \frac{(AC_{RED}/DC_{RED})}{(AC_{BLUE}/DC_{BLUE})}$$

AC_{RED} corresponde al cálculo de la desviación estándar de la señal obtenida a partir de la desviación estándar en rojo.

AC_{BLUE} corresponde al cálculo de la desviación estándar de la señal obtenida a partir de la desviación estándar en azul.

DC_{RED} corresponde al cálculo de la señal media obtenida a partir de la media en rojo.

DC_{BLUE} corresponde al cálculo de la señal media obtenida a partir de la media en azul.

A y B parámetros que ajustan la ecuación para calcular una estimación de %SpO₂.

$$y_{model_{RegLinSimple}} = \alpha + \beta(x) + \varepsilon$$

$$y_{model_{RegLinMultiple}} = \alpha + \beta_1(x_1) + \beta_2(x_2) + \dots + \beta_n(x_n) + \varepsilon$$

y_{model} Predicción de la regresión lineal.

α Término Independiente. Esperado si $x = 0$ o $x_n = 0$.

β Coeficiente de la regresión lineal simple.

x Valor del predictor.

β_n Coeficientes de la regresión lineal múltiple,

x_n Valores predictores.

ε Error de observación debido a variables no controladas.

Variabilidad total: Es la suma de la variabilidad explicada y no explicada.

$$VT = VE + VNE$$

Variabilidad explicada: Es la suma de los cuadrados de la regresión.

$$VE = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2$$

Variabilidad no explicada: Es la suma de los cuadrados residuales.

$$VNE = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2$$

Coefficiente de Determinación: Se define como la proporción de la variabilidad de la variable dependiente que es explicada por la regresión.

$$R^2 = \frac{VE}{VT}$$

Factor de inflación de la varianza: Criterio que permite evitar la multicolinealidad de las variables predictoras

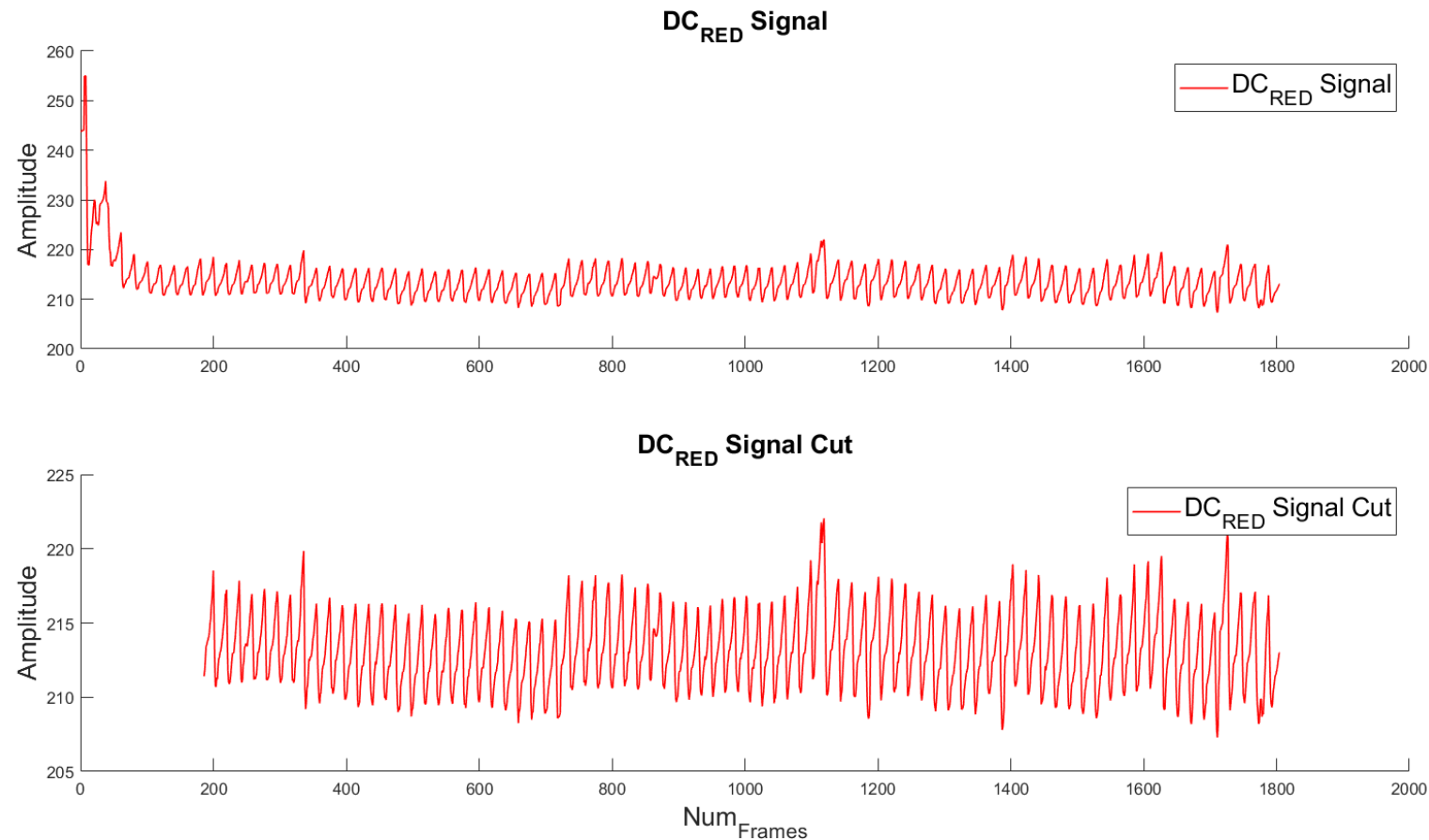
$$VIF = \frac{1}{1 - R^2}$$

El Data Set esta compuesto por 21 posibles variables predictoras de una base de datos de 2000 videos. El Data Set se divide de forma randómica en 80/20, por lo tanto 1600 videos se destinan al entrenamiento y 400 para la prueba del algoritmo predictor.

| Medida del Oxímetro de pulsos | Características del teléfono inteligente | Parámetros estadísticos | Modelos |
|---|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• $\%SpO_2$• $Frec_{Cardiaca}$ | <ul style="list-style-type: none">• $Numero_{Camaras}$• $Resolution_{MP}$ | <ul style="list-style-type: none">• DC_{RED}, DC_{GREEN} y DC_{BLUE}• AC_{RED}, AC_{GREEN} y AC_{BLUE}• $\frac{(AC_{RED}/DC_{RED})}{(AC_{BLUE}/DC_{BLUE})}$ | <ul style="list-style-type: none">• iPhone:<ul style="list-style-type: none">• 11pro y Xr• Samsung:<ul style="list-style-type: none">• A51 y A10• Huawei:<ul style="list-style-type: none">• P30lite y P40lite• Xiaomi:<ul style="list-style-type: none">• Note8Pro y Note9Pro |



RECORTE DE N-FRAME INICIALES

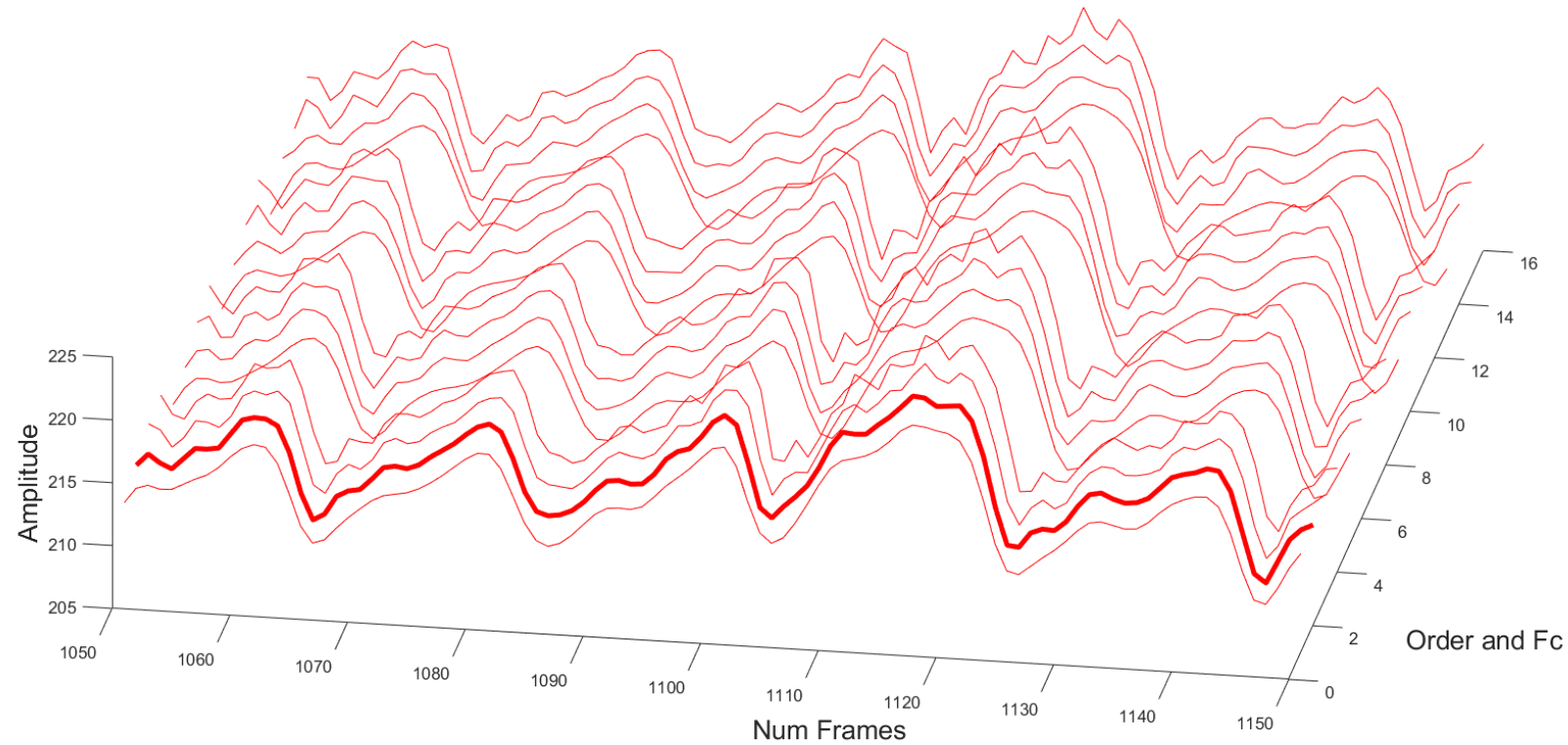


Recorte del 10% del tiempo inicial del video, correspondiente a 180 frames o 6 segundos en cada video.

Señal de muestra DC_{RED} .

FILTRO PASA BAJO

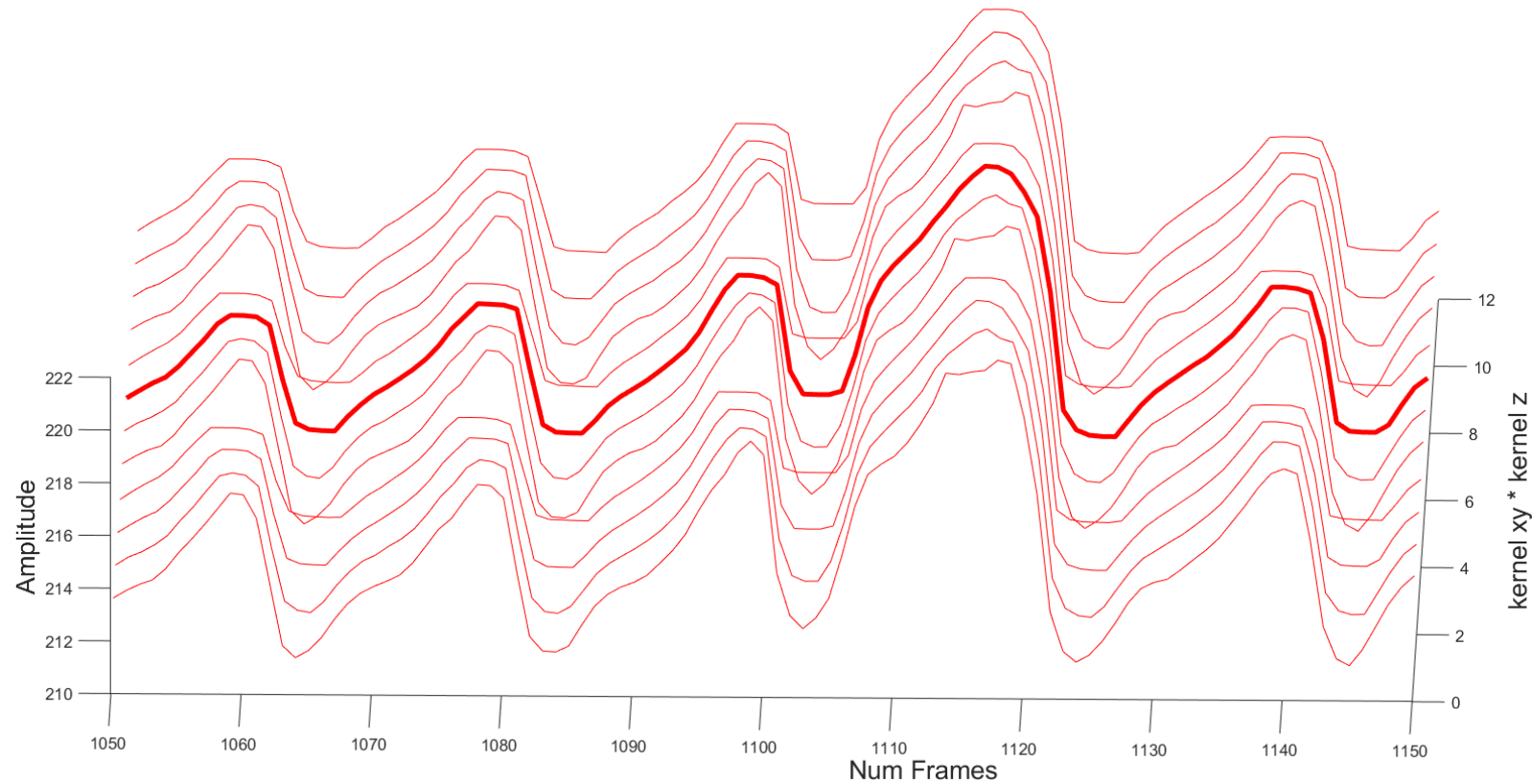
Low Pass Filter Mode M for DC_{RED} Signal



Es diseñado para una frecuencia de corte de 1Hz y orden 12.

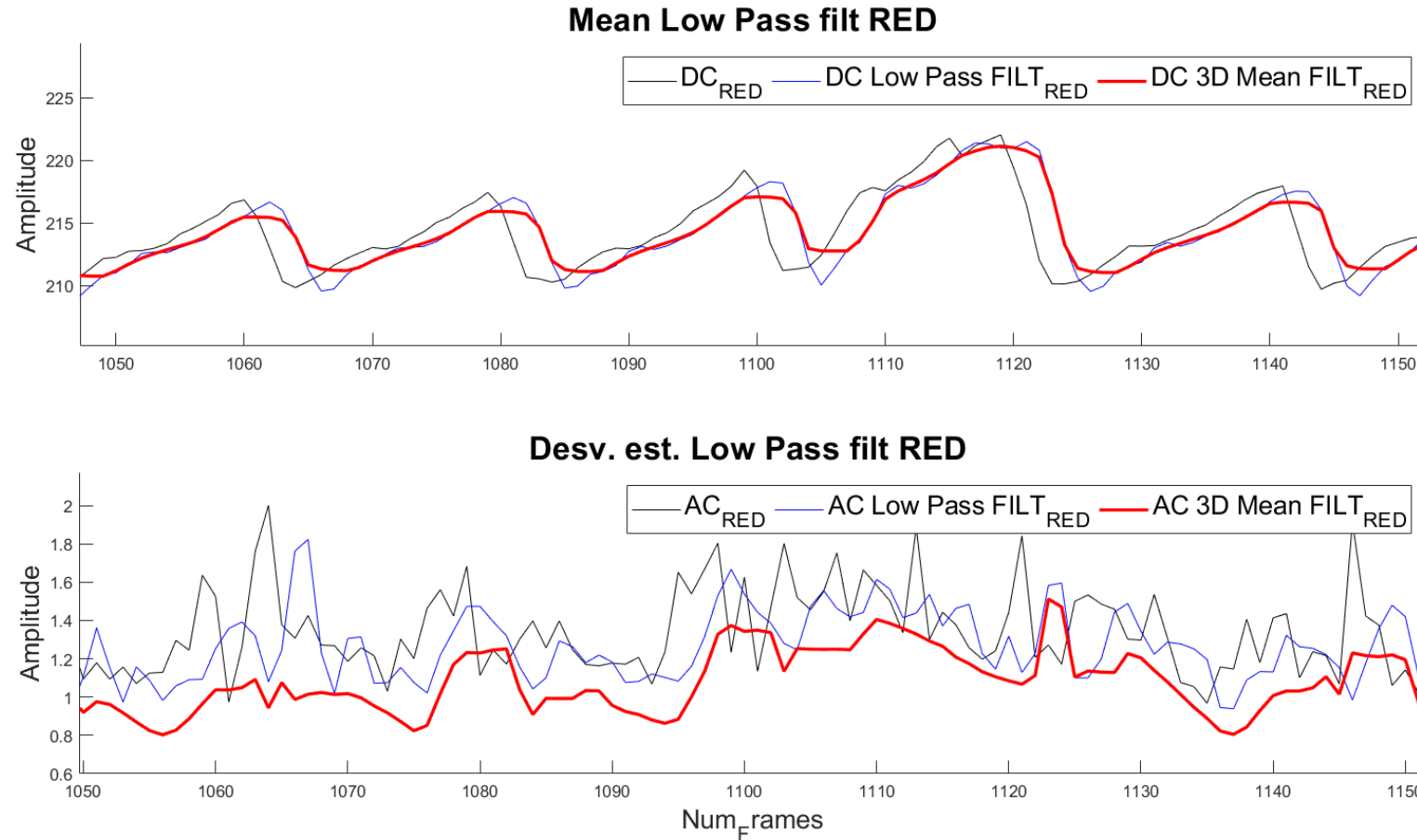
Señal de muestra DC_{RED} .

Median 3D Filter Mode M for DC_{RED} Signal



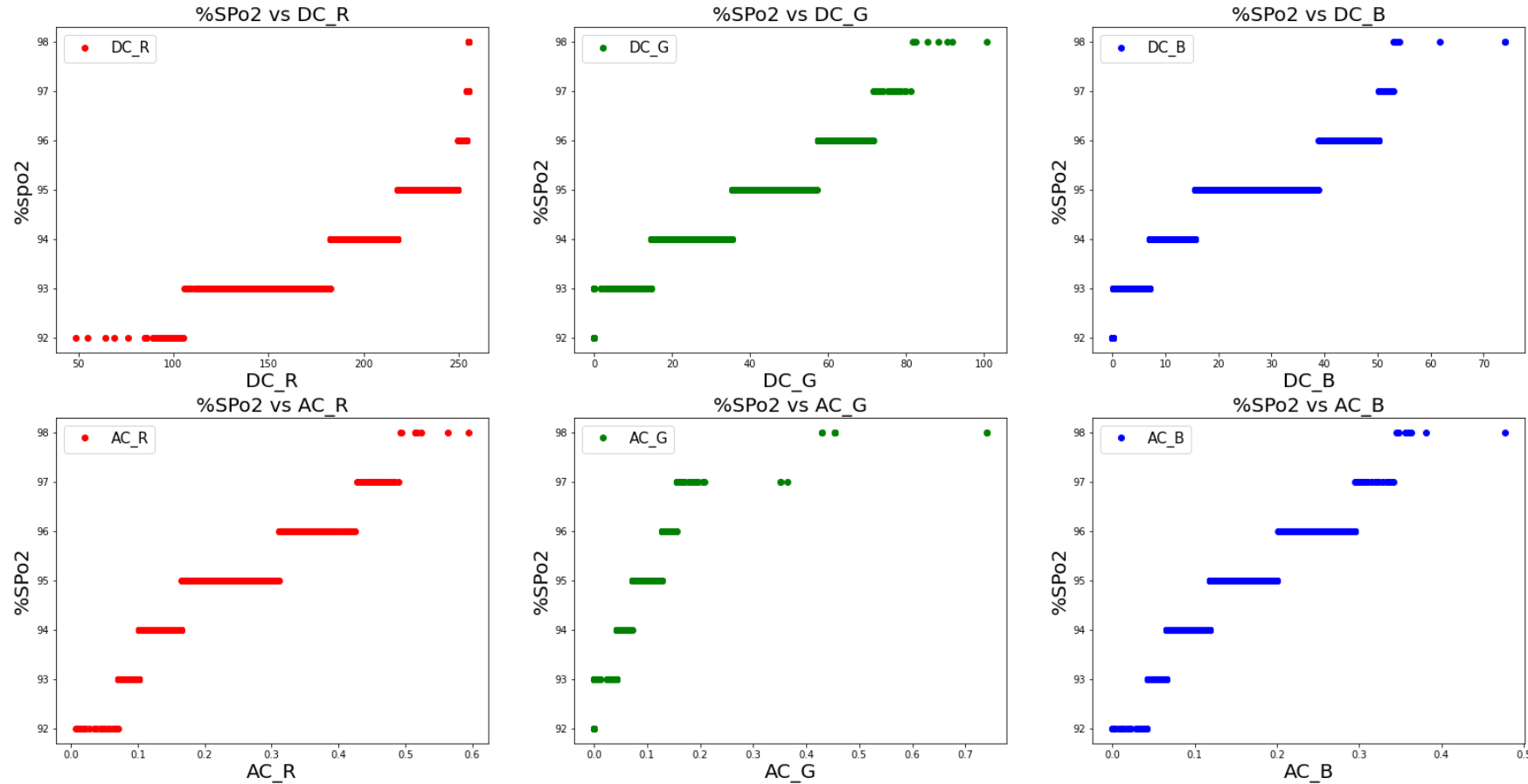
El filtro de mediana tiene un kernel correspondiente a una matriz tridimensional de $[5 \times 5 \times 7]$ pixels.

Señal de muestra DC_{RED} .

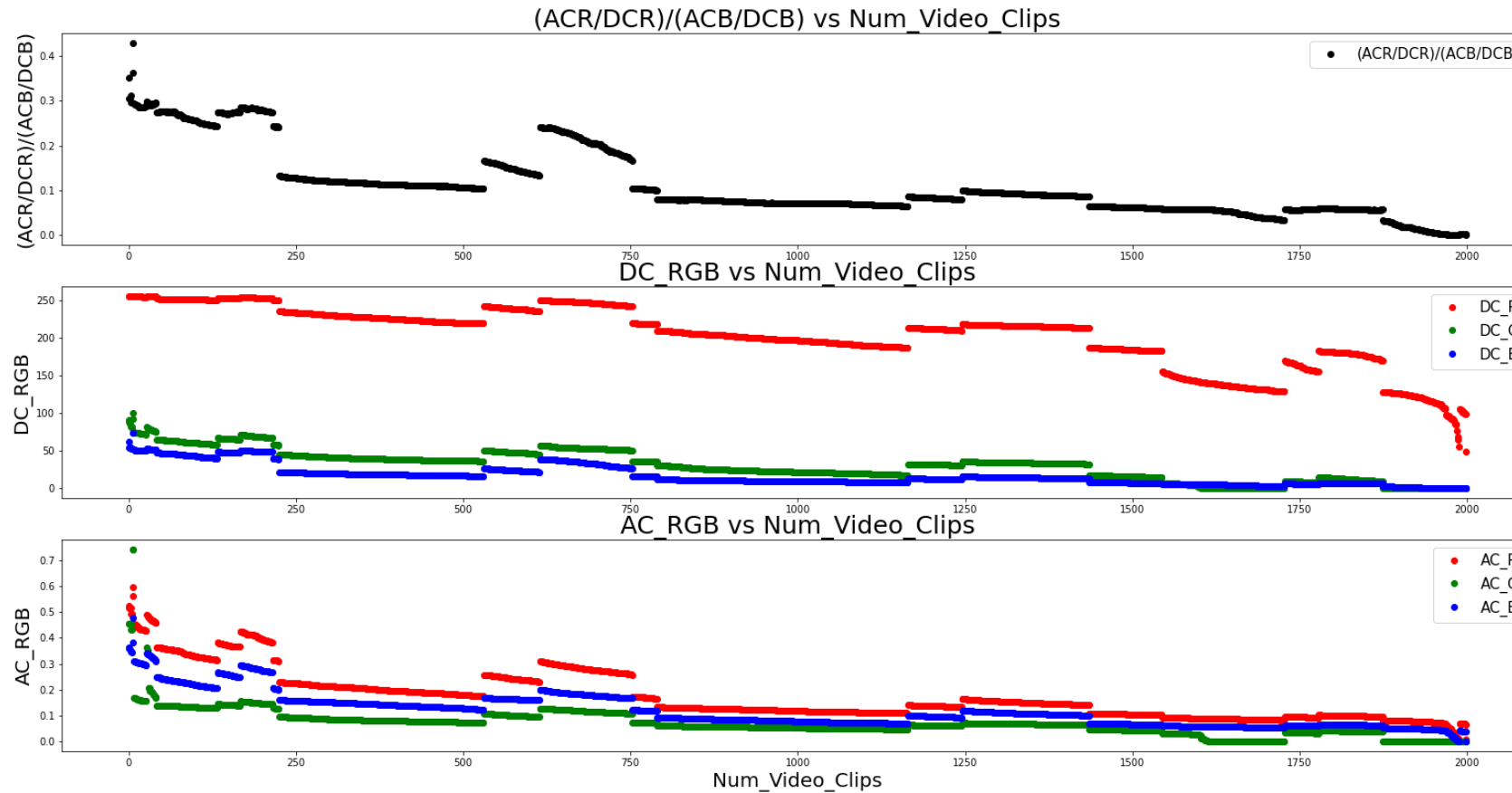


El preprocesamiento se realizó los videos del Data Set, extrayendo los parámetros estadísticos de las señales recortadas y filtradas. Señales de muestra DC_{RED} y AC_{RED} .

DATA SET



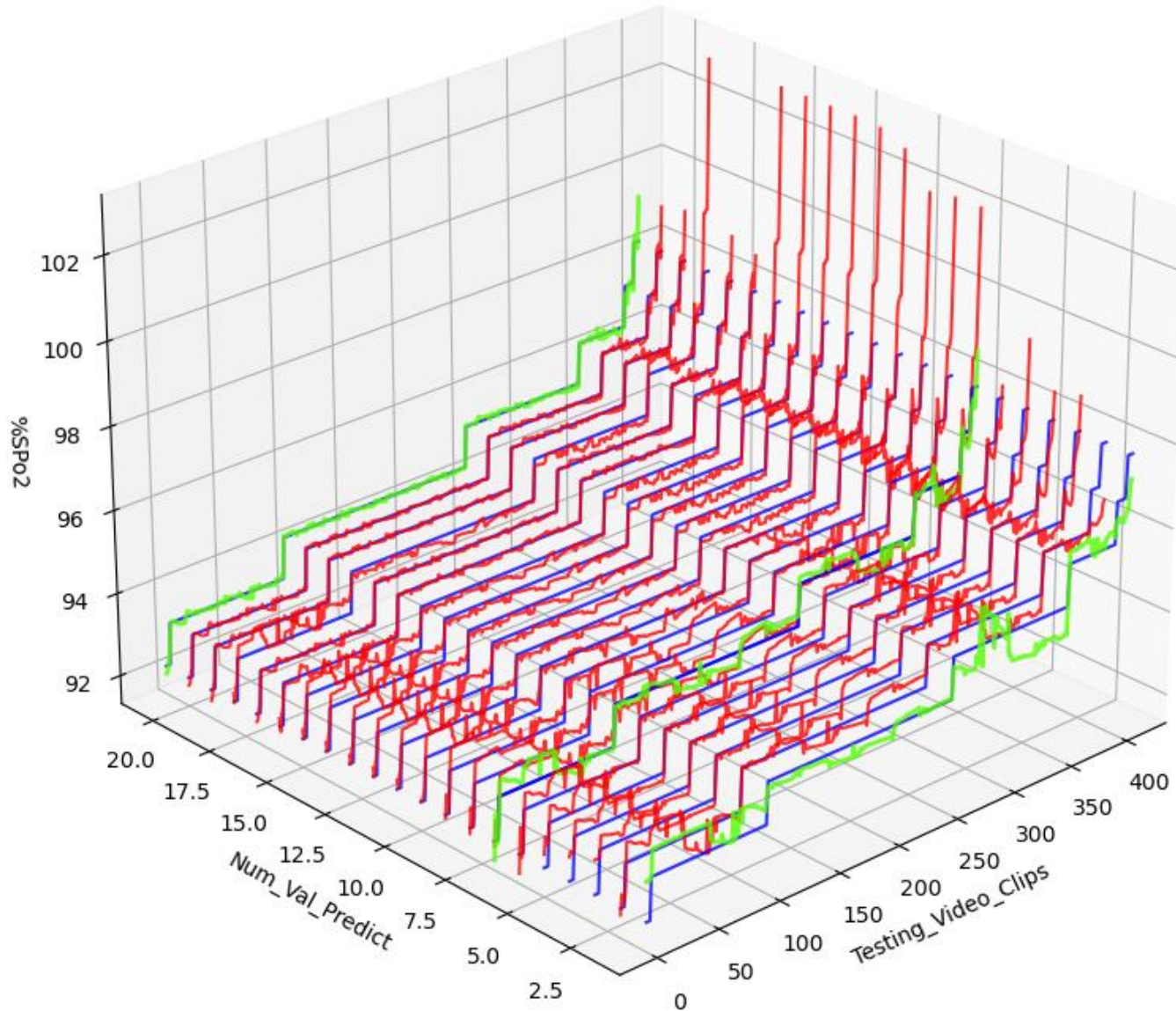
Los parámetros estadísticos calculados de las señales preprocesadas son ordenados en función del valor de $\%SpO_2$ medido con el oxímetro de pulsos de menor a mayor. Señales de muestra DC_{RGB} y AC_{RGB} .



Los parámetros estadísticos calculados de las señales preprocesadas son graficados según los 2000 videos. Señales de muestra DC_{RGB} y AC_{RGB} .



REGRESION LINEAL

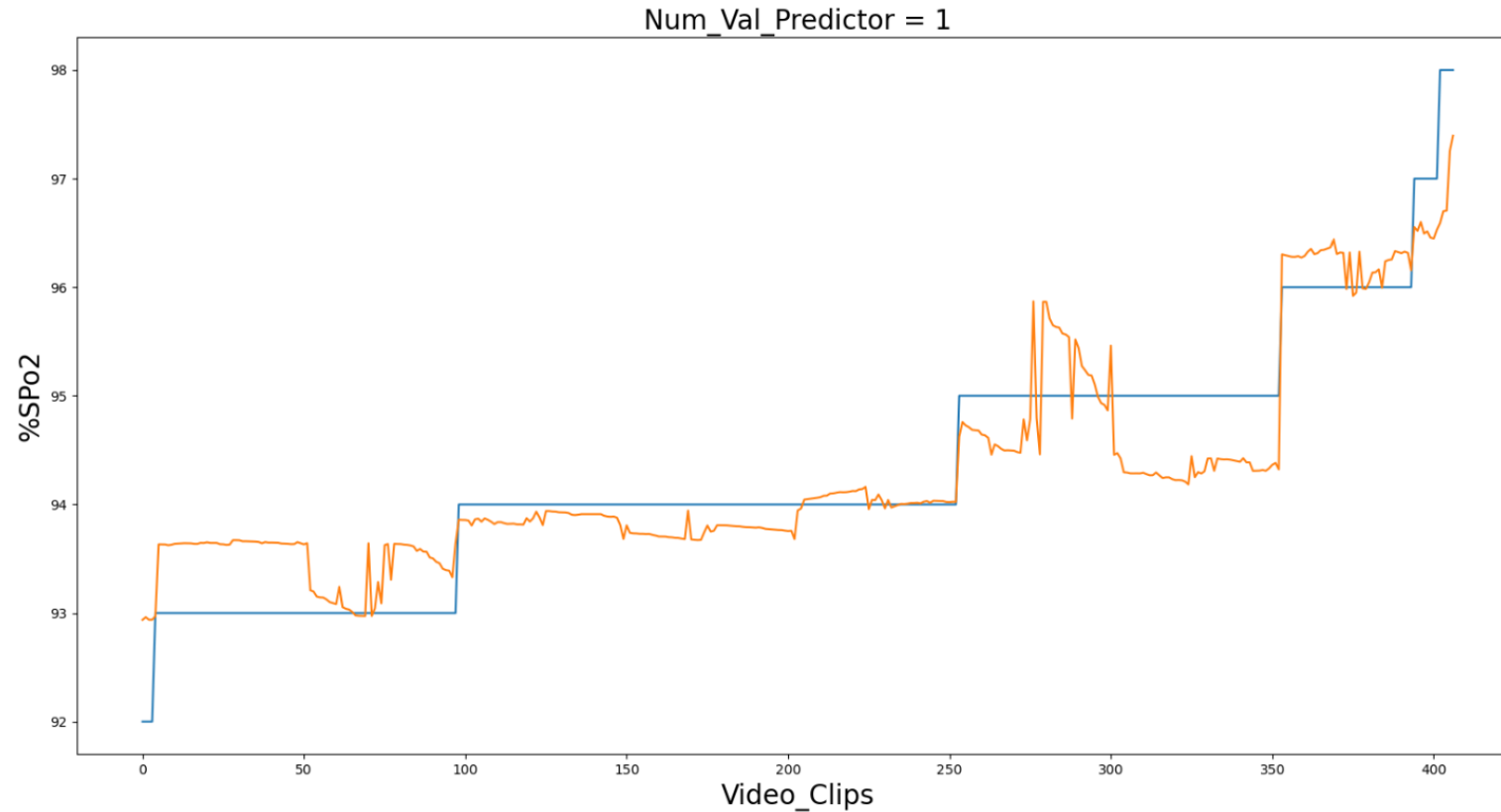


El algoritmo estimativo de $\%SpO_2$ basado en regresión lineales con n variables predictoras. Graficas del DataSet de prueba, graficas verdes corresponden a 1, 7 y 21 variables predictoras.

REGRESION LINEAL

| <i>NumValPredictor</i> | <i>R²</i> | <i>VNE</i> | <i>VE</i> | <i>VT</i> | <i>VIF</i> | <i>ERROR%</i> |
|------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 0.79618568 | 80.6082357 | 0.44613078 | 81.0543665 | 0.20381431 | 0.47307391 |
| 3 | 0.89814123 | 39.0828843 | 0.31141589 | 39.3943002 | 0.10185876 | 0.33022320 |
| 7 | 0.92241475 | 31.0732179 | 0.27906583 | 31.3522837 | 0.07758524 | 0.29591942 |
| 15 | 0.94545076 | 52.6018575 | 0.36678550 | 52.9686430 | 0.05454923 | 0.38893674 |
| 16 | 0.99236204 | 3.96451280 | 0.10082369 | 4.06533649 | 0.00763795 | 0.10691272 |
| 17 | 0.99544094 | 2.96958182 | 0.08737211 | 3.05695393 | 0.00455905 | 0.09264876 |
| 18 | 0.94545076 | 52.6018575 | 0.36820075 | 52.9700582 | 0.05454923 | 0.39043746 |
| 19 | 0.99527160 | 3.33533748 | 0.09283557 | 3.42817305 | 0.00472839 | 0.09844217 |
| 21 | 0.99544094 | 2.96958182 | 0.08782482 | 3.05740664 | 0.00455905 | 0.09312881 |

REGRESSION LINEAL



$$R^2 = 0.79618568$$

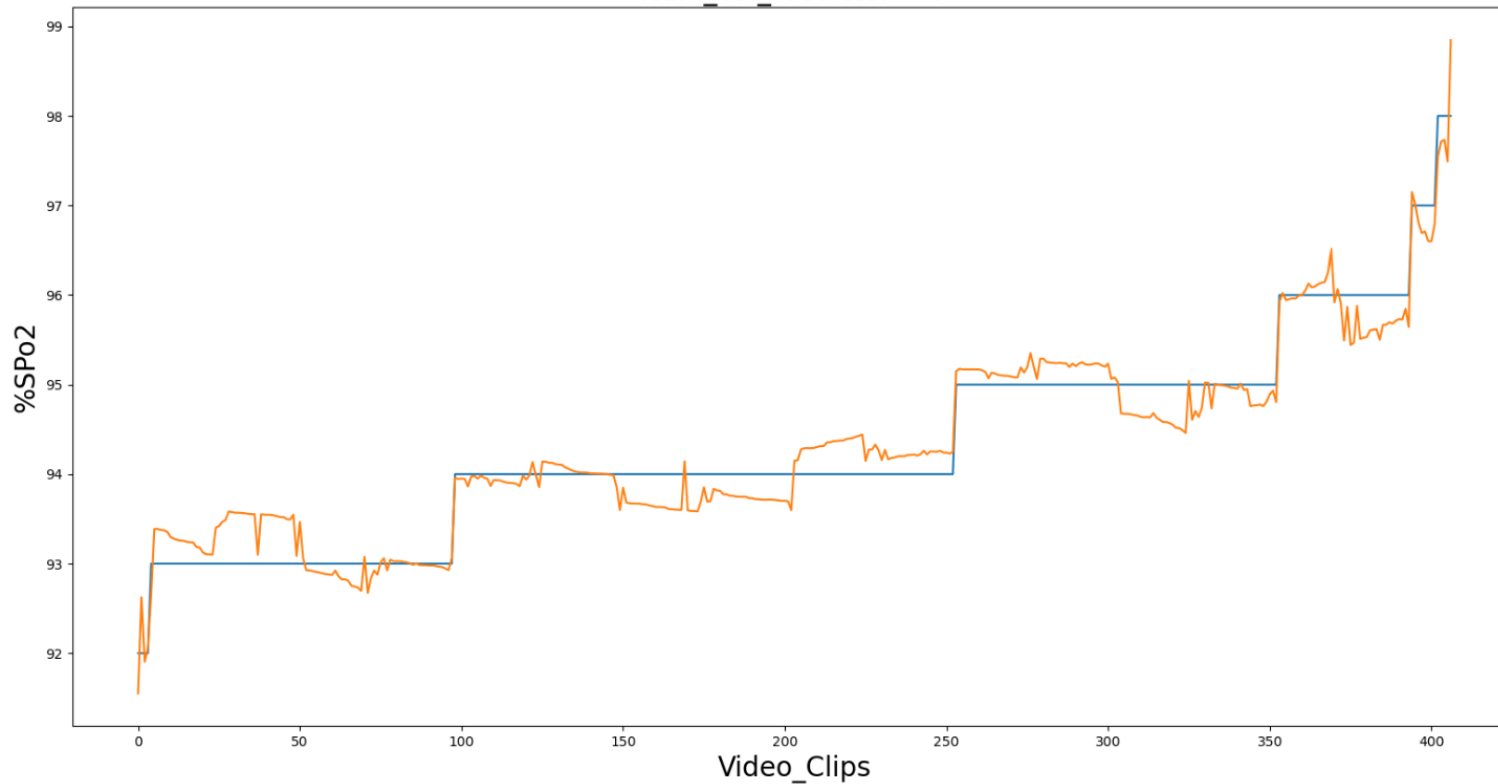
$$VIF = 0.20381431$$

$$ERROR\% = 0,47307391$$

$$y_1 \text{ var}_{\text{predict}} = 92.9368 + 12.3255 \frac{AC_R/DC_R}{AC_B/DC_B}$$

REGRESSION LINEAL

Num_Val_Predictor = 7



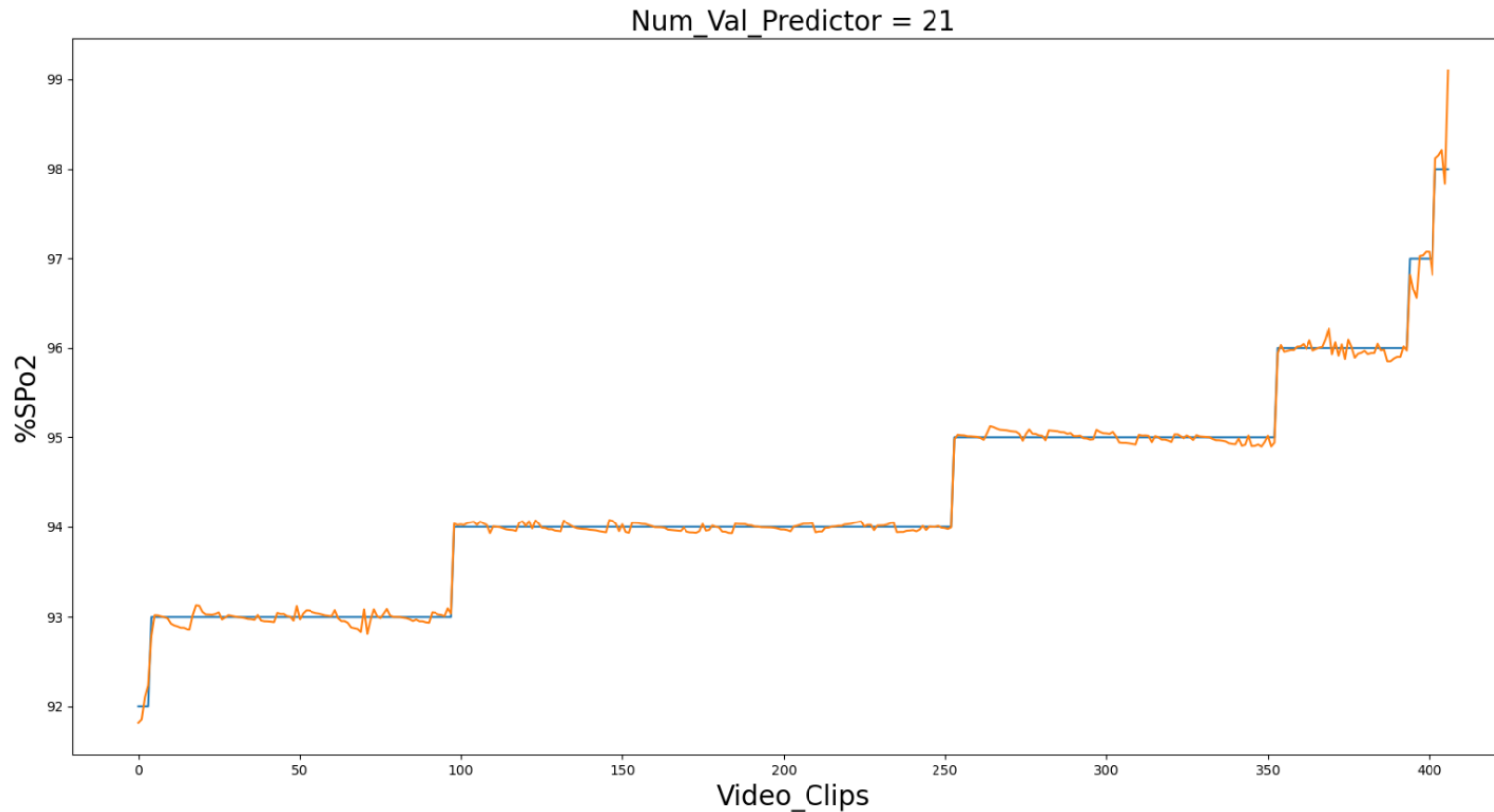
$$R^2 = 0.92241475$$

$$VIF = 0.07758524$$

$$ERROR\% = 0,29591942$$

$$y_7 \text{ var}_{\text{predict}} = 90.6505 - 2.2092 \frac{AC_R/DC_R}{AC_B/DC_B} + 0.0115(DC_R) - 0.005(DC_G) - 0.0263(DC_B) + 5.6182(AC_R) + 1.0988(AC_G) + 9.1344(AC_B)$$

REGRESSION LINEAL



$$R^2 = 0.99544094$$

$$VIF = 0.00455905$$

$$ERROR\% = 0,09312881$$

$$y_{21 \text{ var}_{\text{predict}}} = 90.8871 - 0.6829 \frac{AC_R/DC_R}{AC_B/DC_B} + 0.0105(DC_R) - 0.0088(DC_G) - 0.0256(DC_B) - 0.6030(AC_R) + 1.6555(AC_G) - 12.609(AC_B) - 0.0892(Num_{Cam}) + 0.0028(Res_{MP}) + 0.0472(Iphone) + 0.1470(Samsung) - 0.2375(Huawei) + 0.0431(Xiaomi) - 0.1438(Iphone_{11pro}) + 0.1911(Iphone_{Xr}) + 0.2243(Samsung_{A51}) - 0.0772(Samsung_{A10}) - 0.1858(Huawei_{P30lite}) + 0.0517(Huawei_{P40lite}) + 0.3010(Xiaomi_{Note8Pro}) - 0.2579(Xiaomi_{Note9Pro})$$



- La investigación realizada permitió conocer el principio de funcionamiento de los oxímetros de pulsos, el cual hace referencia a la hemoglobina para el transporte de oxígeno en sangre, de esta forma se implementa un algoritmo que permite estimar el $\%SpO_2$ en aplicativos para teléfonos inteligentes.
- El algoritmo desarrollado permite obtener los parámetros necesarios para cuantificar la frecuencia y saturación de oxígeno.
- A partir de una app Android se desarrolló un prototipo de adquisición de frecuencia cardíaca el cual funcionaba por conteo de picos con un error menor al este aplicativo requiere los parámetros de calibración de la ecuación estimativa de $\%SpO_2$, 2%, por lo cual en su etapa inicial generaba un error superior al 10% con referencia a un oxímetro patrón.

- Al generar el DataSet, se encontró como recurrencia que independientemente del modelo de smartphone, los parámetros estadísticos extraídos de las señales con mayor valor numérico son DC_{RED} y AC_{RED} , además de correlacionarse directamente con el valor medido.
- Los parámetros estadísticos con mayor correlación con el valor de %SpO₂ medido según la experimentación son DC_{GREEN} y AC_{GREEN} , por lo tanto, contribuyen significativamente a la predicción del valor de %SpO₂
- Tras la experimentación, se obtuvo un R^2 de 0.99544094 para el modelo predictivo de 21 variables, es el mejor modelo que se ajusta al DataSet actual, sin embargo al introducir un nuevo conjunto de datos de un teléfono diferente el modelo será inexacto, por lo que se recomienda utilizar como modelo predictivo el de 7 variables a pesar de tener un R^2 de 0,92241475 con un error de 0,29591942%.

- Si el algoritmo utiliza 7 o más variables predictoras, siendo estas los parámetros estadísticos calculados de las señales biomédicas provenientes de los videos originales, las predicciones se consideran altamente fiables. Con un coeficiente de ajuste de 0.9224 y un error de 0,2959%.
- El algoritmo de predicción basado en regresiones lineales múltiples es una alternativa muy precisa que ofrece el aprendizaje automático supervisado para estimar el %SpO₂ con un error inferior a 0,47% con relación a un oxímetro de pulsos patrón. Esta fiabilidad está directamente relacionada con el número de parámetros predictores contenidos en el Data Set, de esta forma validamos la hipótesis presentada en este proyecto.



Al proyecto "DESARROLLO DE UN SISTEMA MÓVIL-WEB COMO UNA SOLUCIÓN PREVENTIVA PARA EL REGISTRO Y SEGUIMIENTO DE PERSONAS QUE ESTÁN EN AISLAMIENTO DOMICILIARIO Y SON POSIBLES CASOS DE CORONA-VIRUS: Proyecto "APP COVID-LIFE", grupo de investigación Wicon Energy y Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por la financiación..



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

Artículo Académico Previo a la Obtención del Título de Ingeniera en Electrónica E Instrumentación

“PREDICTION OF CALIBRATION PARAMETERS OF THE OXYGEN SATURATION ESTIMATION EQUATION BY OPTICAL RECORDING ON SMARTPHONES”

Autor:

Caballeros Tejada Daniel Esteban

Ing. David R. Rivas, PhD. *Tutor*

