



AI technology applied in TBM tunnel construction

Fernando Vara
ACCIONA Global Business Development Director

THE IMPORTANCE OF TBMs IN TUNNELING

"TBMs have excavated more than 1.000 kilometers of tunnels each year since 2012"



"More than 20 TBMs will excavate new tunnels on Australia and NZ in the next 10 years"



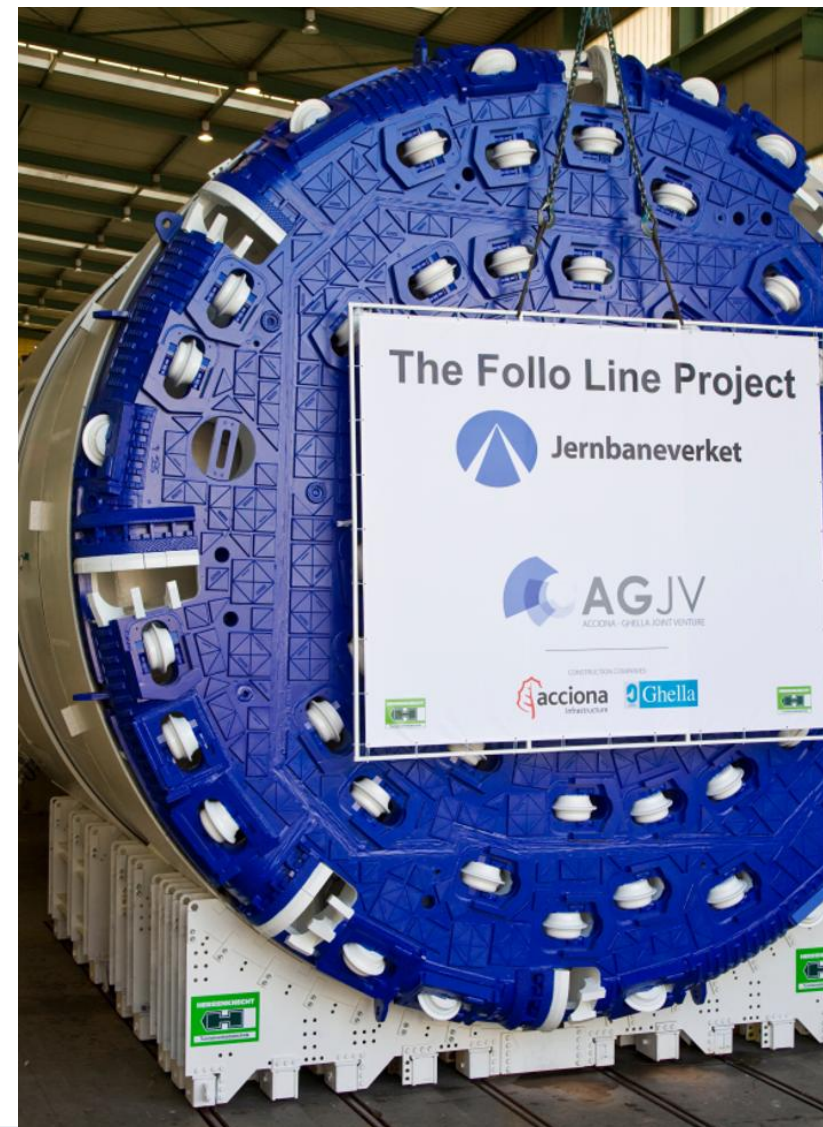
HIGH-TECH IN AN UNCERTAIN WORLD

“More than 30% of the tunneling projects worldwide experienced geotechnical difficulties that led to cost and/or schedule overruns with an average budget deviation of more than 55% of the original budget”^[1,2,3]

[1] Flyvbjerg, B., Bruzelius, N., & Rothengatter, W. (2014). Understanding cost overruns in large infrastructure projects: A comparative study of road and railway projects. *Project Management Journal*, 45(2), 6-17.

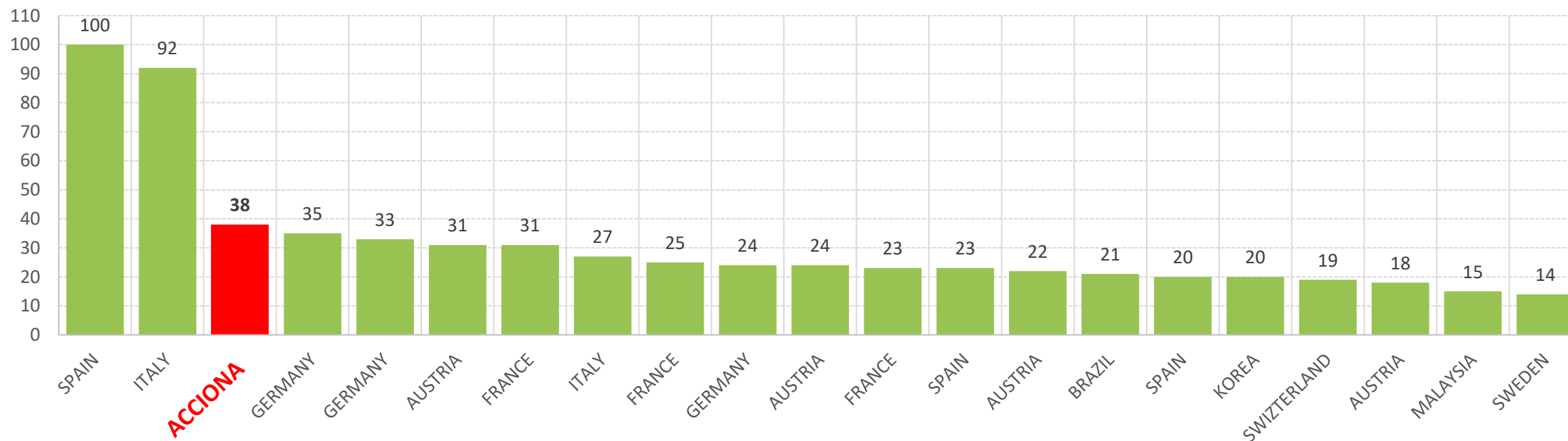
[2] Barton, N. & Carannante, D. (2019). Tunnel Boring Machines in Difficult Ground - A Worldwide Review. In *Proceedings of the World Tunnel Congress 2019* (pp. 1-12). Naples, Italy: International Tunnelling and Underground Space Association (ITA).

[3] González, J. L., González-Prida, D., García-Crespo, Á., & Medina-Viruel, P. (2018). Risk management in the construction industry: A new literature review. *Journal of Cleaner Production*, 176, 836-851.



ACCIONA FOCUSED ON TBM TUNNELS

Classification of the world construction companies in traffic tunneling according to the number of projects with Herrenknecht TBMs (1992-2021)





THE ORIGIN: 2022 OPEN INNOVATION CHALLENGE

I'MNOVATION #Startups is a program where during the 3-month acceleration period, the participant companies will obtain funding to execute a real pilot project in one of the Businesses of the ACCIONA Group and will have access to new opportunities. Depending on the result, the Startups will have the chance to enter into marketing agreements, partnerships or funding arrangements with ACCIONA.

2022 ACCIONA OPEN INNOVATION CHALLENGE

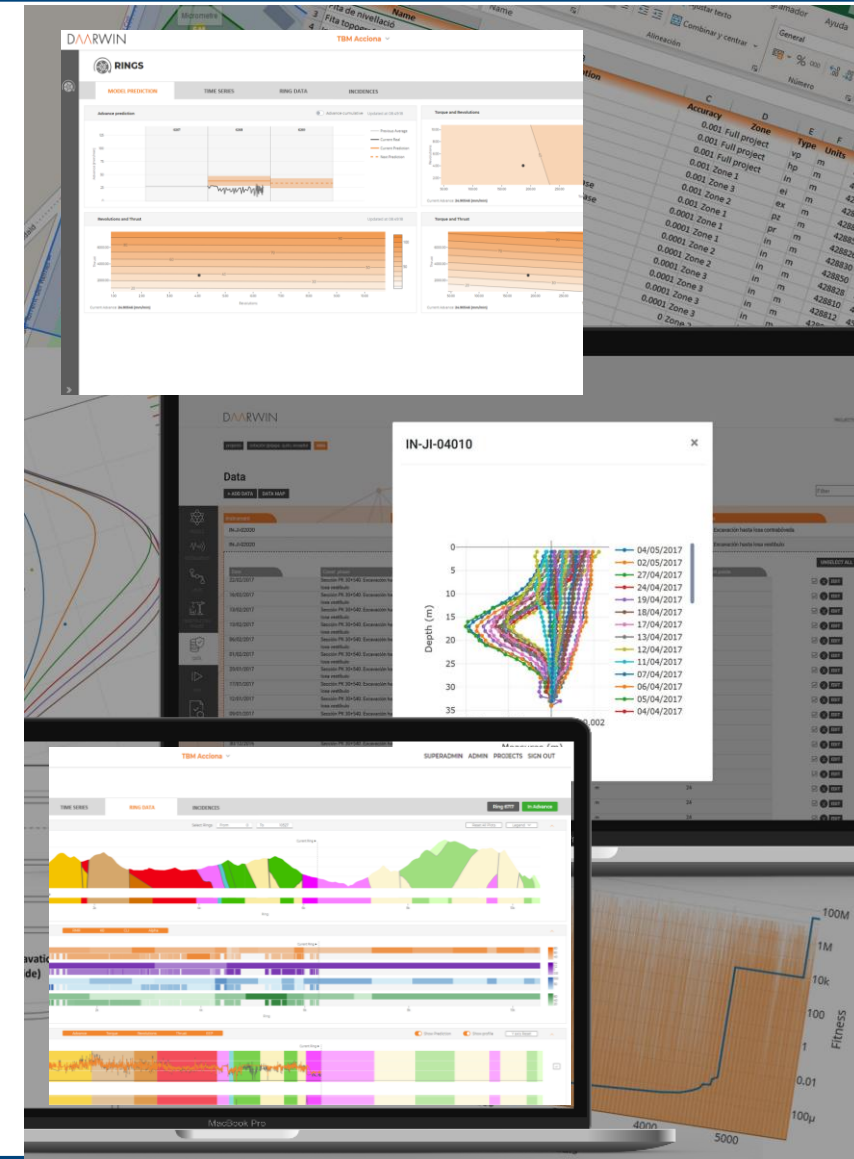
“Optimization of the Penetration Parameter of TBMs based on Geological Conditions”
(June 2022 to January 2023)



THE JOURNEY TO THE AUTONOMOUS TBMS

“**GEMINI**: a software based on machine learning algorithms that analyses TBM parameters and ground conditions in real-time to:”

- PREDICT TBM advance rate
- DETECT geotechnical anomalies in advance
- ASSIST the TBM pilots to optimize the excavation phases
- CENTRALIZE the most relevant TBM and Ground information to be used in FUTURE projects



THE JOURNEY TO THE AUTONOMOUS TBMS

"GEMINI implements a ground-machine interaction model to predict TBM advance rate (AR) from TBM operation parameters and geotechnical parameters"

- MULTIVARIATE LINEAR Regression: $AR_{(predicted)} = \sum_{i=1}^N a_i T_i + \sum_{j=1}^M b_j G_j + C_0$
- BAYESIAN-RIDGE Higher-Order Regression: $AR_{(predicted)} = \sum_{i=1}^N a_i T_i + \sum_{k=N+1}^M a_k T_i T_j + \sum_{l=1}^P b_l G_l + C_0$

TBM SENSOR DATA (13 VARIABLES)

- Torque [kN]
- Total Force of all TC [kN]
- Revolution [rpm]
- Trailing Tube Pressure [kN]
- Pitch [mm/m]
- Reel [deg]
- Total Force of all SC [kN-t]
- Total Contact Forces Gr. A, B, C, D [kN]
- Vertical Deviation Machine [mm]
- Horizontal Deviation Machine [mm]

GEOTECHNICAL PARAMETERS: FRACTURED ROCK MASS (4 VARIABLES PER UNIT)

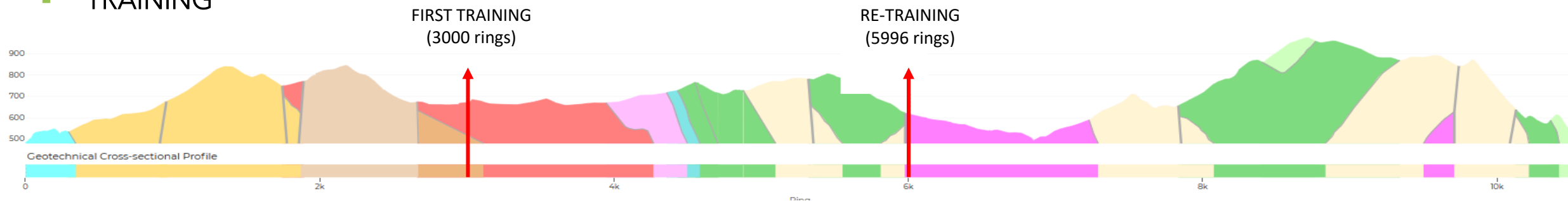
- RMR (Rock Mass Rating)
- CLI (Cutting Life Index)
- K0 (Coefficient of Earth Pressure at Rest)
- Alpha (Rock Mass Discontinuities Direction)

SOILS

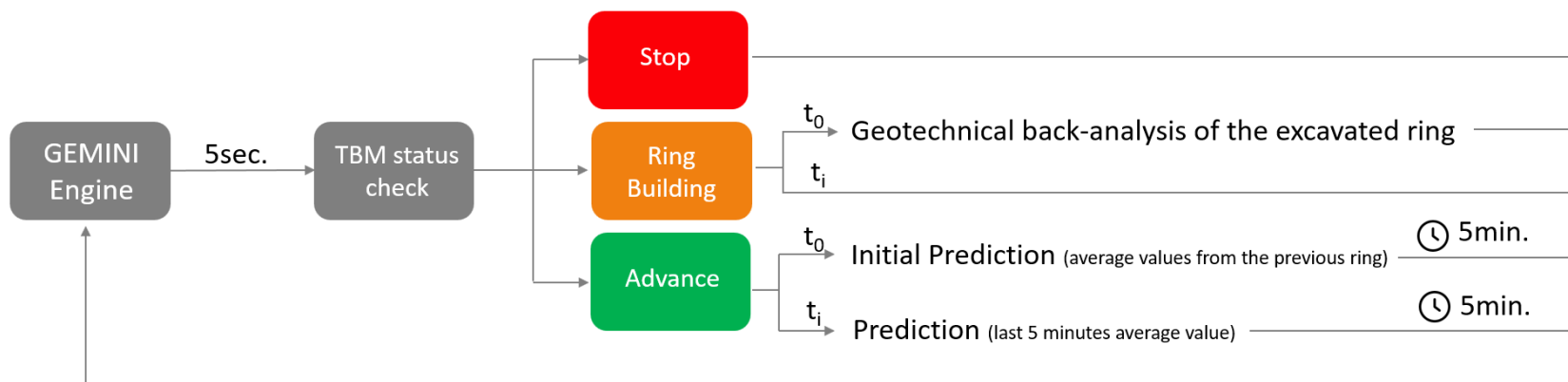
- E' (Soil stiffness)
- c' (Cohesion)
- phi' (Friction angle)
- K (Permeability)

THE JOURNEY TO THE AUTONOMOUS TBMS

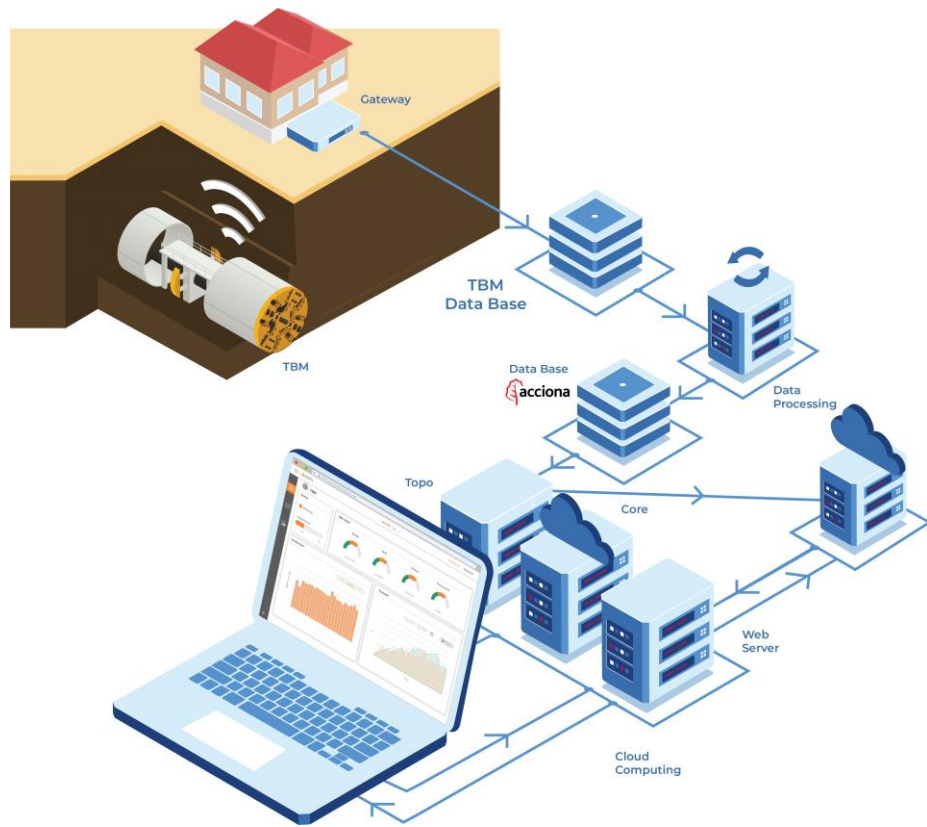
■ TRAINING



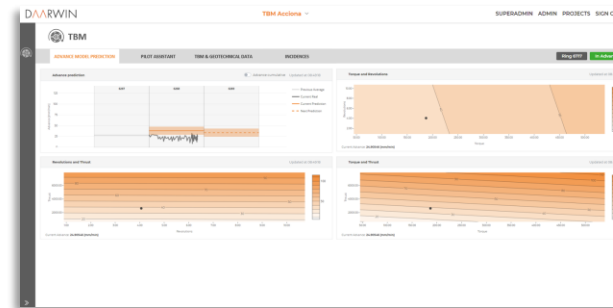
■ PRODUCTION



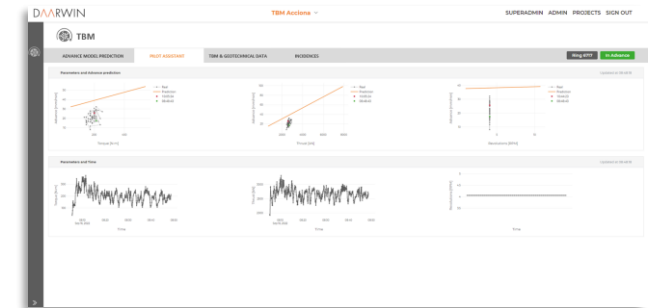
THE JOURNEY TO THE AUTONOMOUS TBMS



Tab 1: Advance Model Prediction



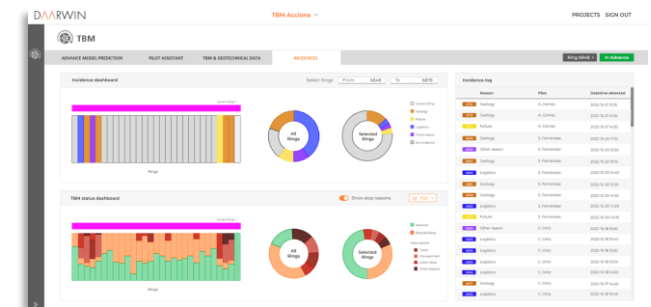
Tab 2: Pilot Assistant



Tab 3: TBM & Geotechnical Data



Tab4: Incidences



DAARWIN

TBM Acciona

SUPERADMIN PROJECTS SIGN OUT



TAB 1

TAB 2

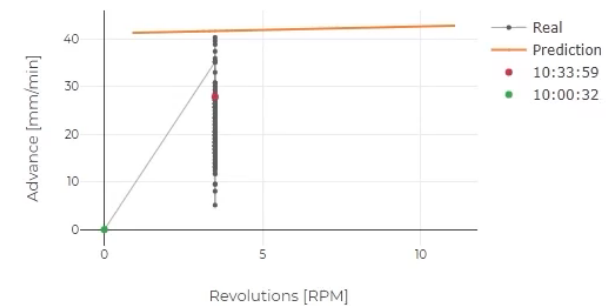
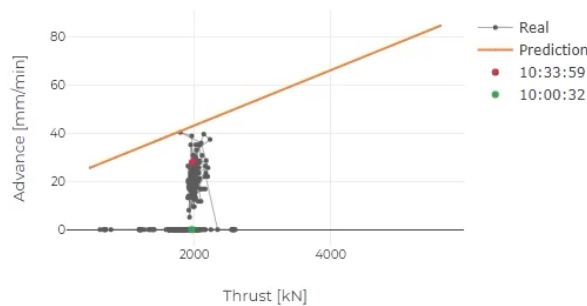
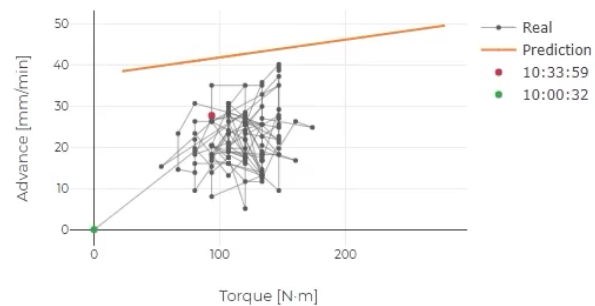
TAB 3

Ring 6233

Stopped

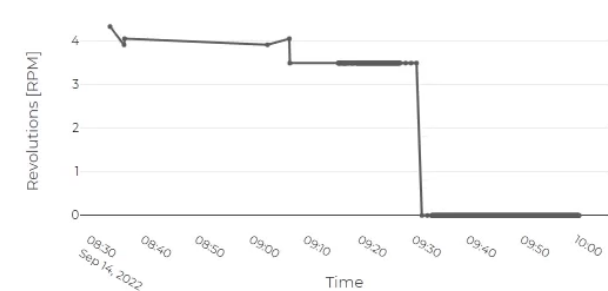
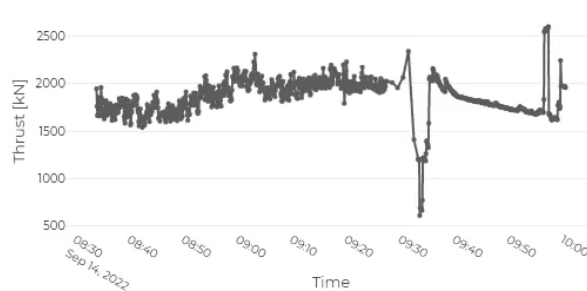
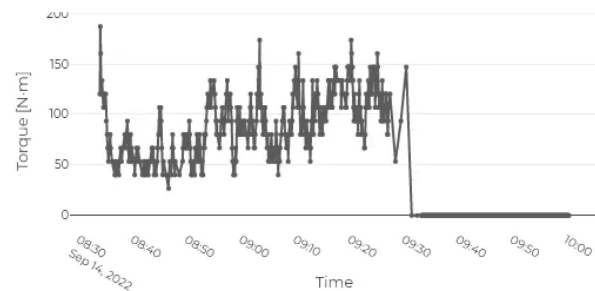
Parameters and Advance prediction

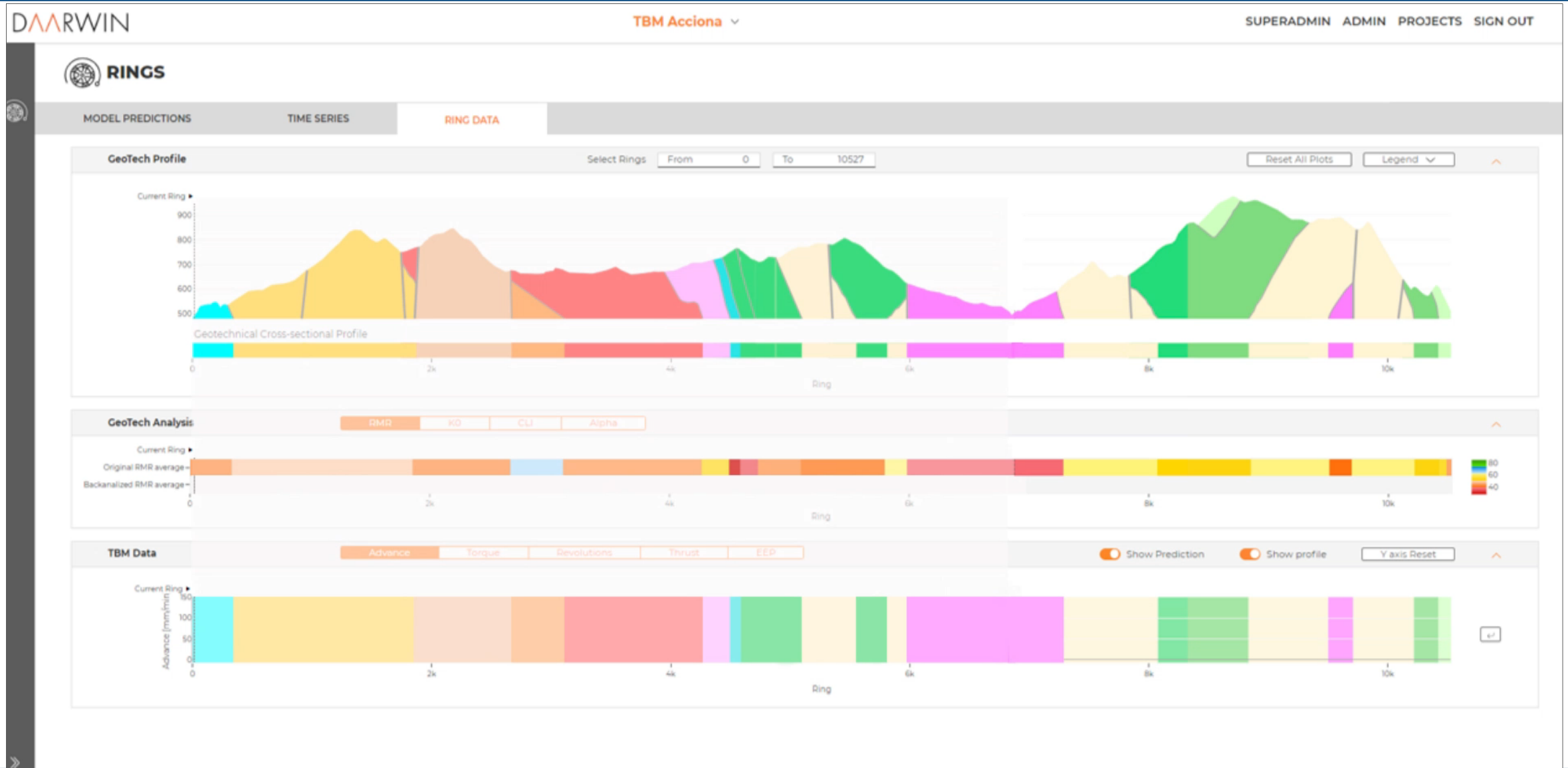
Updated at 10:00:31



Parameters and Time

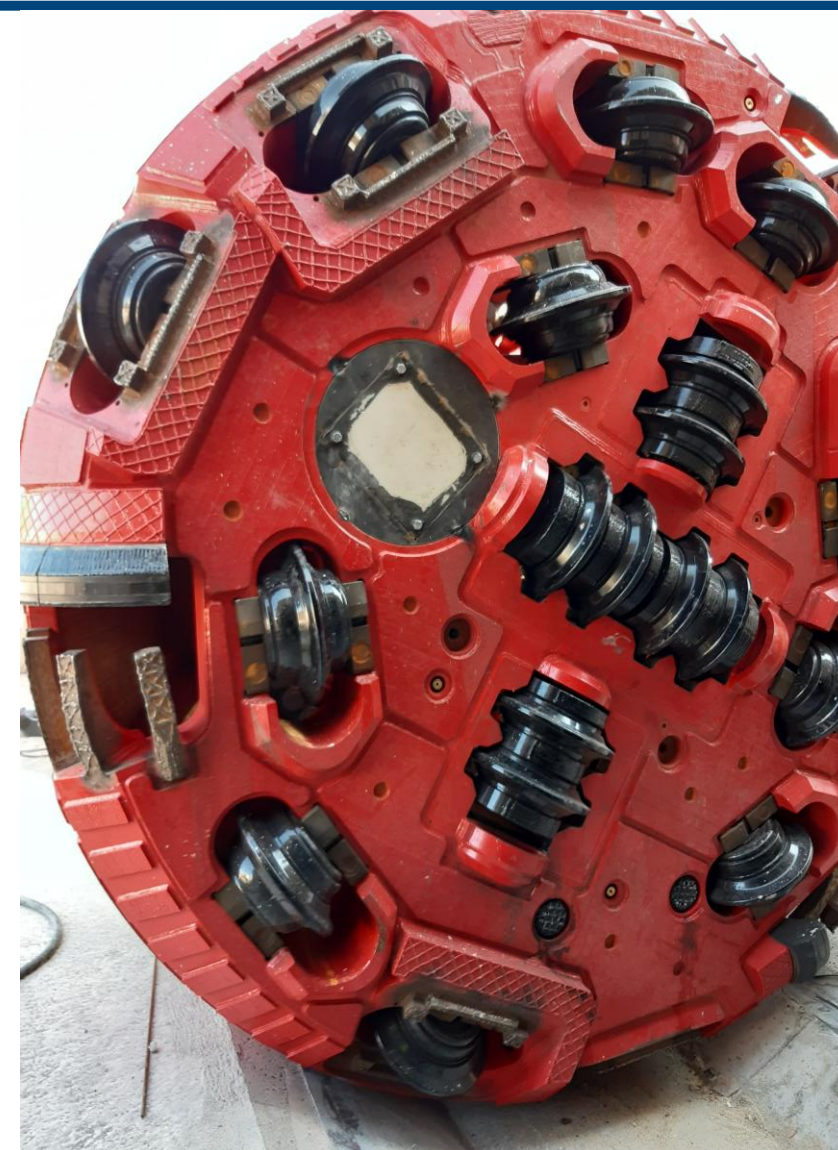
Updated at 10:00:31





MULARROYA HIDRAULIC TUNNEL, SPAIN

- TBM excavation PERFORMANCE INCREASE: 12.5%



MULARROYA HIDRAULIC TUNNEL, SPAIN

- TBM excavation PERFORMANCE INCREASE: 12.5%
- TBM excavation TIME REDUCTION: 14 days



MULARROYA HIDRAULIC TUNNEL, SPAIN

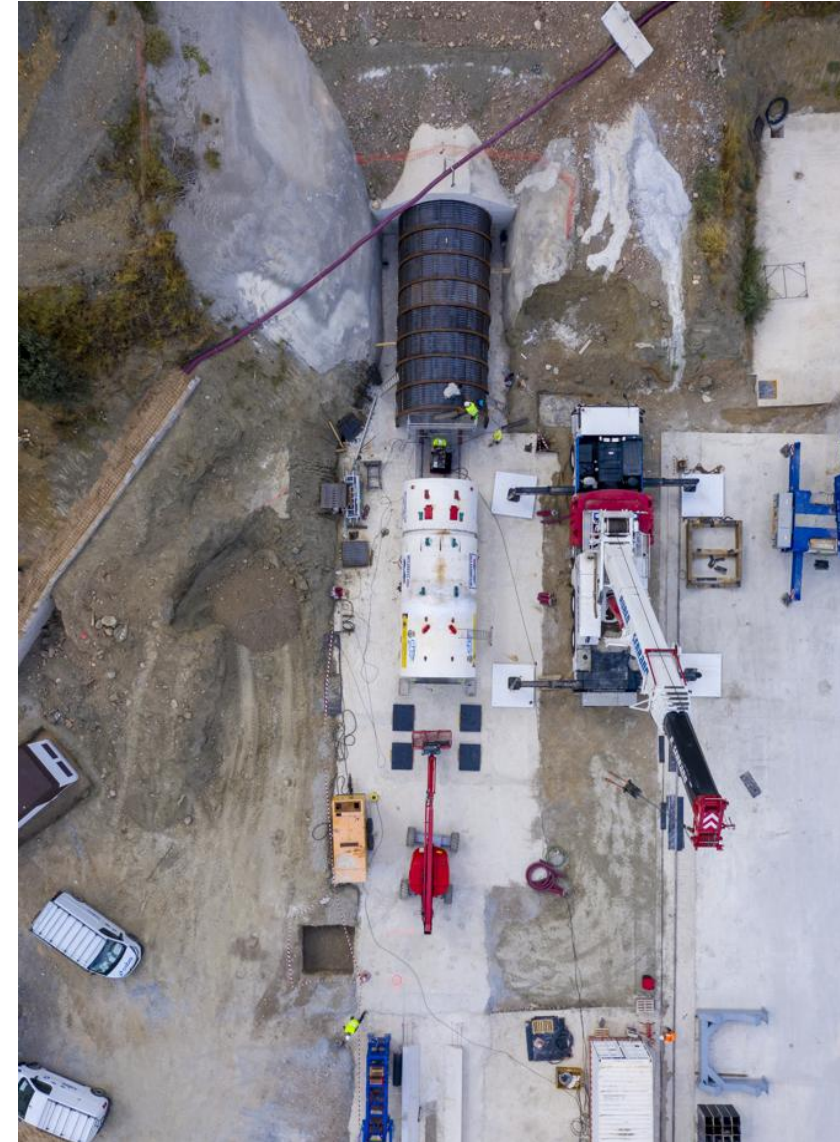
- TBM excavation PERFORMANCE INCREASE: 12.5%
- TBM excavation TIME REDUCTION: 14 days
- COST savings: 1.5 M€



MULARROYA HIDRAULIC TUNNEL, SPAIN

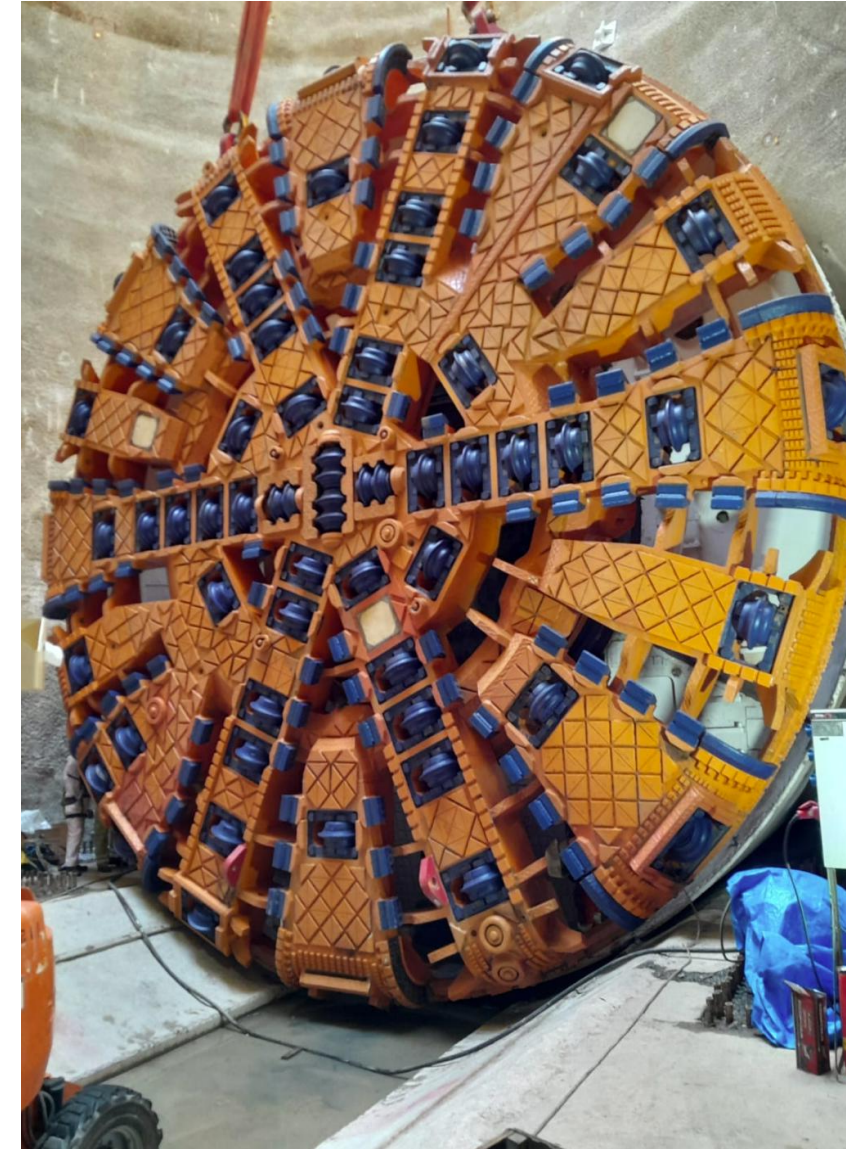
- TBM excavation PERFORMANCE INCREASE: 12.5%
- TBM excavation TIME REDUCTION: 14 days
- COST savings: 1.5 M€
- CO2 emissions REDUCTION: 140K tCO₂e*

*Equivalent to the annual CO₂ emissions of 28,000 cars (average petrol cars emissions running 20,000 kilometers per year)



SÃO PAULO METRO LINE 6, BRAZIL

“Expanding GEMINI into soil conditions
(two TBMs to test the new developments)”



ACCIONA TBM TUNNEL PROJECTS FOR 2023-2026



100 km of TBM
tunnels awarded

9 projects

18 TBMs

5 countries
excavating tunnels

ACCIONA TBM TUNNEL PROJECTS FOR 2023-2026



UTE L11 Metro de Madrid (SPAIN)
TBM to be defined
1 EPB, 9.4 M (7.0 km)



METRO BROADWAY VA. - CANADA
HERRENKNECHT S-1304
HERRENKNECHT S-1305
2 EPB, 7.0 M, 5 km (10.0 km)



SAO PAULO METRO L6 (BRAZIL)
NFM NTU-075 y NTU-076
1 EPB and 1 VD, 10.0 M (12,4 km)



UTE S-19 Rzeszow-Babica (POLAND)
HERRENKNECHT S-1287C
1 EPB, 15.2 m (4.5 km)



UTE MANDRI - BARCELONA (SPAIN)
HERRENKNECHT S-442
1 EPB, 12.4 M (2.7 km)



TUNEL DE MULARROYA (SPAIN)
HERRENKNECHT M-949M
1 DOUBLE SHIELD, 3.5 M (13.0 KM)



SYDNEY WESTERN HARBOUR TUNNEL
2 Slurry TBMS, 16.5 M, 6,5 km (13 km)



Sidney Metro Central
HERRENKNECHT
2 Double Shield, 7.0 M,
10.2 km (20.5 km)

THE JOURNEY TO THE AUTONOMOUS TBMs

"ACCIONA is investing in the capital of SAALG to bring high-tech innovation into the TBM tunnelling industry"

Acciona entra en la tecnología de IA y 'big data' de Saalg

La ronda de financiación asciende a 3,65 millones y, además del grupo constructor, han participado el programa EIC Accelerator de la Unión Europea y Creand Crédit Andorra.

J.M.J.G.S. Barcelona/Valencia
El grupo Acciona se suma a la multinacional británica de ingeniería Mott MacDonald y a la consultora mexicana Cemes en el accionariado de Saalg Geomechanics, tecnológica que ha desarrollado un software que predice a partir de un gran volumen de datos el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería.

Mediante una aportación aproximada de dos millones de euros, Acciona ha liderado una ronda de 3,65 millones en la compañía fundada en 2016 por Cristian de Santos y Ignasi Altaper. Esta cantidad incluye una revalorización en la start up por parte del banco andorrés Creand Crédit Andorra y una subvención de 1,5 millones de la Comisión Europea a través del programa EIC Accelerator.

La ayuda comunitaria se complementa con una inversión de capital de 1,8 millones dentro del mismo programa, hasta sumar el importe total de la inversión en cinco millones. Con los recursos obtenidos, pretenden "demostrar" el uso del big data y la inteligencia artificial en el sector de la construcción.

Tras la entrada de Acciona, los fundadores mantienen la mayoría del accionariado, del que forma parte



Equipo de Saalg Geomechanics.

tu también el business angel Xavier Capdevila, ex primer ejecutivo de la firma Nemo.

El grupo de la familia Entrecana, los técnicos en asfalto en el corredor de administración de Saalg -al igual que Cemes y Capdevila- y su incorporación como socios de referencia permitieron a la firma entender su software tras la entrada de Acciona. Para puntualizar su crecimiento, Saalg, con sede en Barcelona, ha aumentado su plantilla de ocho a veint

personas desde el pasado otoño y en 2022 duplicó su facturación. Devenir permite almacenar, gestionar y analizar la información del terreno durante la planificación, diseño, ejecución y mantenimiento de obras civiles y edificaciones. Este software se está usando en Reino Unido en High Speed Train, el mayor proyecto de infraestructuras de alta velocidad ferroviaria del país.

"Esta inversión de capital representa el salto definitivo para conver

La startup que prevé qué hará un terreno

SAALG Geomechanics desarrolla software de inteligencia artificial y procesamiento de big data para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".

Concretamente, se trata de un software que se conecta a la Comunidad Pública de Datos de la Unión Europea, una plataforma de datos que permite a las empresas, organizaciones y personas acceder a los datos de la Unión Europea de forma segura y controlada. Este software se utiliza para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".

La empresa emergente Saalg Geomechanics, una startup de software de inteligencia artificial y procesamiento de big data para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".

La empresa emergente Saalg Geomechanics, una startup de software de inteligencia artificial y procesamiento de big data para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".

La empresa emergente Saalg Geomechanics, una startup de software de inteligencia artificial y procesamiento de big data para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".

La empresa emergente Saalg Geomechanics, una startup de software de inteligencia artificial y procesamiento de big data para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".

La empresa emergente Saalg Geomechanics, una startup de software de inteligencia artificial y procesamiento de big data para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".

La empresa emergente Saalg Geomechanics, una startup de software de inteligencia artificial y procesamiento de big data para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".

La empresa emergente Saalg Geomechanics, una startup de software de inteligencia artificial y procesamiento de big data para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".

LA VANGUARDIA



La IA predictiva anticipa a las 'start up' el futuro

El grupo Acciona se suma a la multinacional británica de ingeniería Mott MacDonald y a la consultora mexicana Cemes en el accionariado de Saalg Geomechanics, tecnológica que ha desarrollado un software que predice a partir de un gran volumen de datos el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería.

Mediante una aportación aproximada de dos millones de euros, Acciona ha liderado una ronda de 3,65 millones en la compañía fundada en 2016 por Cristian de Santos y Ignasi Altaper. Esta cantidad incluye una revalorización en la start up por parte del banco andorrés Creand Crédit Andorra y una subvención de 1,5 millones de la Comisión Europea a través del programa EIC Accelerator.

La ayuda comunitaria se complementa con una inversión de capital de 1,8 millones dentro del mismo programa, hasta sumar el importe total de la inversión en cinco millones. Con los recursos obtenidos, pretenden "demostrar" el uso del big data y la inteligencia artificial en el sector de la construcción.

Tras la entrada de Acciona, los fundadores mantienen la mayoría del accionariado, del que forma parte

tu también el business angel Xavier Capdevila, ex primer ejecutivo de la firma Nemo.

El grupo de la familia Entrecana, los técnicos en asfalto en el corredor de administración de Saalg -al igual que Cemes y Capdevila- y su incorporación como socios de referencia permitieron a la firma entender su software tras la entrada de Acciona. Para puntualizar su crecimiento, Saalg, con sede en Barcelona, ha aumentado su plantilla de ocho a veint

personas desde el pasado otoño y en 2022 duplicó su facturación. Devenir permite almacenar, gestionar y analizar la información del terreno durante la planificación, diseño, ejecución y mantenimiento de obras civiles y edificaciones. Este software se está usando en Reino Unido en High Speed Train, el mayor proyecto de infraestructuras de alta velocidad ferroviaria del país.

"Esta inversión de capital representa el salto definitivo para conver

La empresa emergente Saalg Geomechanics, una startup de software de inteligencia artificial y procesamiento de big data para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".

La empresa emergente Saalg Geomechanics, una startup de software de inteligencia artificial y procesamiento de big data para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".

CincoDías

Acciona entra como socio estratégico en la ingeniería SAALG Geomechanics

CINCO DÍAS

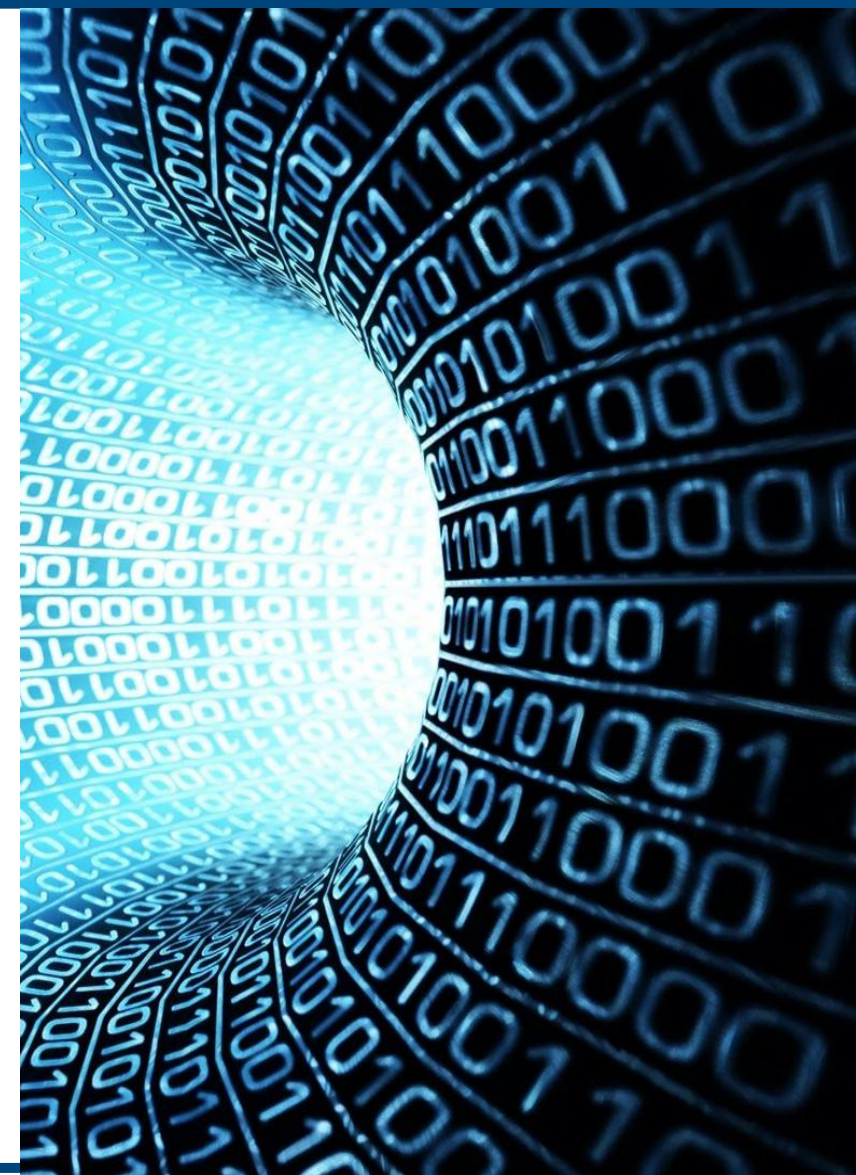
La empresa emergente SAALG Geomechanics, una startup de software de inteligencia artificial y procesamiento de big data para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".

La empresa emergente SAALG Geomechanics, una startup de software de inteligencia artificial y procesamiento de big data para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".

La empresa emergente SAALG Geomechanics, una startup de software de inteligencia artificial y procesamiento de big data para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".

La empresa emergente SAALG Geomechanics, una startup de software de inteligencia artificial y procesamiento de big data para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".

La empresa emergente SAALG Geomechanics, una startup de software de inteligencia artificial y procesamiento de big data para predecir el comportamiento del terreno durante la ejecución de un proyecto de ingeniería. Para Teodoro Pérez, director de ventas, "Saalg es la herramienta definitiva para la planificación, ejecución y mantenimiento de una obra".



WINNER

GROUND
ENGINEERING
AWARDS 2023
WINNER

AWARD FOR DIGITAL INNOVATION

