

Hardware in the loop - Automatización de ensayos y la acreditación de acuerdo a la norma DIN EN ISO/IEC 17025

Hardware in the loop - Test Automation and the DIN EN ISO/IEC 17025 Accreditation

LARS EBRECHT (*), LENNART ASBACH (**), CLEMENS PREUK (***) e INGO STEINHÄUSER (****)

HARDWARE IN THE LOOP - AUTOMATIZACIÓN DE ENSAYOS Y LA ACREDITACIÓN DE ACUERDO A LA NORMA DIN EN ISO/IEC 17025

RESUMEN Las especificaciones de los ensayos relativos al Sistema Europeo de Control de Trenes (ETCS, European Train Control System) son bastante extensas, por lo que el DLR ha emprendido la Automatización de todo el proceso, tanto en lo que se refiere a la ejecución de los ensayos, como su validación y la presentación de informes. En este artículo se repasará brevemente el actual estado de esta automatización en el Laboratorio RailSiTe® y se pondrán de relieve los beneficios de la automatización en el proceso de acreditación de acuerdo a la norma DIN EN ISO / IEC 17025.

ABSTRACT *The test specification of the European Train Control System (ETCS) is quite extensive and therefore the DLR has started with the Test Automation of the execution, validation and reporting of whole test process. In this article we will give a brief overview of the automation status in the laboratory RailSiTe® and highlight the benefit of the automation during the accreditation process towards the DIN EN ISO / IEC 17025.*

Palabras clave: ETCS, ERTMS, Automatización de ensayos, Hardware in the loop, DIN ISO 17025, RailSiTe®.

Keywords: ETCS, ERTMS, Test Automation, Hardware in the loop, DIN ISO 17025, RailSiTe®.

1. INTRODUCCIÓN

El Sistema Europeo de control de trenes (ETCS) se está implantando actualmente en bastantes proyectos de países europeos con el fin de sustituir los más de 20 sistemas nacionales de señalización existentes. El objetivo del ETCS es permitir los movimientos ininterrumpidos de los trenes en los puntos transfronterizos, y posibilitar un mercado abierto para la industria de la señalización en el desarrollo de equipos interoperables embarcados y de vía. Los diferentes fabricantes proporcionan elementos interoperables, ya sea para su instalación a bordo del material rodante (componentes OBU) o los Centros de Bloqueo por Radio (RBC). Dichos elementos deben satisfacer los requisitos técnicos específicos de la línea, así como los operacionales, además de ser elementos compatibles con otros equipamientos utilizados en el tren. El DLR dispone de un laborato-

1. INTRODUCTION

The European train control system (ETCS) is currently being implemented in several independent projects in the European countries in order to substitute the more than 20 existing proprietary national signaling systems. The target of ETCS is to enable seamless cross border train movements as well as an open market concerning competing signaling industries for the development of interoperable train- and trackside equipments. Different manufacturers provide ETCS components i.e., on-board units (OBU) or Radio Block Centers (RBC) which need to cover the *technical, line-specific* and *operational* requirements as well as to be compatible with the other components

(*) DLR - German Aerospace Center, Institute of Transportation Systems - Railway Systems. Dipl.- Inform., Head of RailSiTe® laboratory. E-mail: lars.ebrecht@dlr.de

(**) DLR - German Aerospace Center, Institute of Transportation Systems - Railway Systems. Dipl.- Ing., Scientific Staff. E-mail: lennart.asbach@dlr.de

(***) DLR - German Aerospace Center, Institute of Transportation Systems - Railway Systems. Dipl.- Math., Scientific Staff. E-mail: clemens.preuk@dlr.de

(****) DLR - German Aerospace Center, Institute of Transportation Systems - Railway Systems. Dipl.- Inform., Scientific Staff. E-mail: ingo.steinhaeuser@dlr.de



FIGURA 1. RailSiTe® del DLR/RailSiTe® of the DLR.

rio, llamado RailSiTe® –Railway Simulation and Testing–, que permite la simulación de la circulación de los trenes con el fin de realizar estudios técnicos para el nuevo sistema de control ferroviario ETCS. Básicamente, este Laboratorio consta de 5 partes principales. La consola de conducción y un sistema de visualización permiten la investigación de factores humanos. Un conmutador RDSI real, un simulador de un enclavamiento y el sistema de Bloqueo por Radio (RBC) pueden ser utilizados para los ensayos de interoperabilidad, escenarios operacionales o para evaluar la conformidad para el uso. Todos los módulos necesarios para el sistema de control del tren se instalan por separado (Principio de hardware/software in the loop, esto es combinación de equipos reales y simulaciones de equipos) para permitir la posibilidad de intercambiar los componentes relativos a las aplicaciones con equipos reales, por ejemplo, un verdadero RBC puede ser usado a través del conmutador RDSI y ensayar el componente en el circuito sobre una vía virtual. Evidentemente, la simulación no se limita a un determinado componente o equipo real, con lo que la cantidad de equipos reales a simular puede ser mayor.

El RailSiTe® (Fig 1) está acreditado bajo la norma DIN EN ISO / IEC 17025 para la realización de la evaluación a través de las interfaces Europeas de la conformidad o idoneidad para el uso y la interoperabilidad de los OBU (OBU: Equipo Embarcado ETCS) mediante la simulación de casos específicos (por ejemplo, el especificado en el Subset-076 de la Directiva Europea).

2 MATERIAL Y MÉTODOS

El objetivo principal del ETCS es sustituir todos los sistemas de señalización europeos y establecer un marco que permita la circulación ininterrumpida de los trenes con una misma tecno-

utilized in the train. The DLR operates a laboratory, called RailSiTe® –Railway Simulation and Testing–, which enables the simulation of train movements in order to perform operational and technical studies for the new train control system ETCS. Basically it consists 5 main simulation parts. A Drivers Desk and a visualization software allows researching rail human factors. A real ISDN switch and an interlocking and RBC simulation can be used for interoperability tests for operational scenarios or functional conformity tests. All modules necessary for the train control system are implemented separately (Hardware/Software-in-the-loop principle) to enable the possibility of interchanging software components with real hardware e.g., a real RBC can be called via the ISDN-Switch and test the hardware-in-the-loop on a virtual track. Of course the simulation is not limited to one real hardware component, thus the amount of real hardware can be increased.

The RailSiTe® (Fig 1) is accredited under DIN EN ISO/IEC 17025 for the proof of technical functional conformity and interoperability of the trainsided OBUs over physical Interfaces by the simulation of specific events (e.g. specified in the Subset-076).

2. MATERIAL AND METHODS

The main goal of ETCS is to substitute all European signalling systems and to establish a framework allowing seamless cross border train movements using one and the

logía y equipos, así como permitir un mercado abierto para las empresas que compiten en la señalización ferroviaria para el desarrollo de equipos de vía y equipamientos del tren, compatibles.

Para poder validar la conformidad funcional y la interoperabilidad de los OBU, se podrían hacer ensayos en una vía real, pero los costes y el esfuerzo serían demasiado elevados. Los ensayos funcionales son simulaciones de situaciones posibles que pueden tener lugar durante los recorridos del tren, que se especifican en el Subset-076 [1], publicado por la Agencia Ferroviaria Europea (ERA). Estos recorridos incluyen situaciones extraordinarias que pueden, aunque en ocasiones excepcionales, aparecer durante el funcionamiento normal y que dan lugar a retrasos, fallos o incluso accidentes [2]. Si bien, puede ser muy difícil recrear estas situaciones en una campaña de ensayos de campo, si pueden simularse con mayor facilidad en el laboratorio.

Estas pruebas deben ser realizadas en un laboratorio dotado de una arquitectura conforme a la especificación de la arquitectura de referencia definida en el Subset-094 [3]. Los resultados de los ensayos demuestran si el OBU está en línea con las especificaciones técnicas definidas en Subset-026 [4].

El ensayo es de larga duración, aproximadamente 3 meses, y actualmente se realizan manualmente, por lo tanto, es obvio que una automatización del proceso reduciría tiempo y esfuerzo, y también mejoraría la calidad de los resultados obtenidos.

En los capítulos siguientes se van a describir los avances conseguidos y el estado actual de la Automatización de los Ensayos de los OBU en el DLR RailSiTe® y, se pondrán de Manifiesto las ventajas y los retos que han surgido durante el desarrollo de este proceso. Se evidenciará también que la Automatización de Ensayos es esencial para el proceso de acreditación ISO 17025.

2.1. CONCEPTOS BÁSICOS Y EL ENFOQUE GENERAL

Con el fin de realizar ensayos funcionales que cubran todas las especificaciones técnicas del sistema se elaboró la referencia del Subset-076. El objetivo de este documento es la definición de un

same technology and equipment as well as to allow an open market concerning competing signalling industries for the development of equivalent train- and trackside equipments.

In order to validate the functional conformity and interoperability of the OBU they can be tested on a real track but the costs and effort are very high. The functional tests are simulations of possible situations that can take place during train trips, which are specified in the so called Subset-076 [1] released by the European Railway Agency (ERA). These virtual train trips include also very rare situations that can - although very seldom - appear during normal operation and result in delays, failures or even accidents [2]. While it can be quite difficult to recreate these situations in a field test campaign, they can easily be simulated in the laboratory.

These tests have to be performed in a laboratory conformant to the reference laboratory architecture specification Subset-094 [3]. The test results attest if the OBU is in line with the technical system requirement specification Subset-026 [4]. The test process takes a lot of time, approximately 3 months, and is currently done manually therefore it is obvious that a possible automation will reduce the time effort and also improves the quality of the received results.

In the following chapters we will describe our approach and current status of the Test Automation of OBU-Tests in the DLR laboratory RailSiTe® and highlight the benefit and the challenges that have risen during the creation process. It will be also shown that the test automation was essential for the ISO 17025 accreditation process.

2.1. BASICS AND THE GENERAL APPROACH

In order to perform functional tests covering the whole system requirements specification the Subset-076 was created. The goal of this specification is to be able to create a



FIGURA 2. Especificaciones de los requisitos del Sistema ETCS - Subset-026/ETCS System requirements specification - Subset-026.

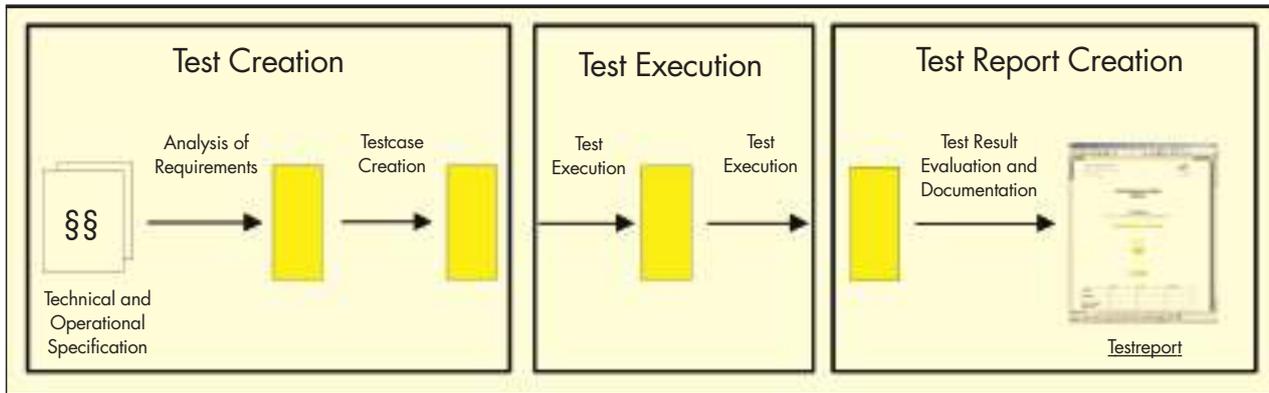


FIGURA 3. Descripción general del proceso de ensayo genérico/Overview of the generic test process.

ensayo de referencia que garantice la cobertura completa de todos los requisitos técnicos del Subset-026. La Fig. 2 muestra partes de esta especificación técnica del sistema ETCS.

La Fig. 3 ofrece una visión básica de cada uno de los pasos de un proceso de ensayo genérico utilizado por el DLR para las pruebas operacionales y técnicas.

La metodología general del ensayo consta de tres fases, una primera fase que consiste en la realización del ensayo, una segunda fase que consiste en el análisis de toda la información obtenida y, por último, la generación de informes.

El primer paso consiste en extraer de la especificación técnica del sistema sus características funcionales. Esto se realiza mediante la construcción de bloques funcionales basados en uno o más requisitos técnicos. A continuación, para cada característica, los expertos definen uno o más casos de prueba. Se utilizan tanto ensayos de resultado positivo como negativo, dependiendo de la característica y funcionalidad ensayada. Estos casos de ensayo constan de varios pasos individuales que afectan una única interfaz cada uno (por ejemplo, la interfaz Conductor / Máquina (DMI), el odómetro, los datos de baliza, GSM-R, ..) Los ensayos y sus pasos se encuentran en un formato genérico, es decir, que describen actividades generales durante el ensayo, pero necesitan ser particularizados con la información específica de cada caso. (ver Fig. 4.). Los parámetros específicos se añadirán en un tercer paso durante la ejecución del ensayo. Cada secuencia de ensayos es una concatenación de cientos de casos de prueba con sus pasos. Hay que tener en cuenta que muchos ensayos se pueden utilizar en diferentes niveles o modos ETCS, por lo que el contenido de algunos pasos a lo largo del ensayo, como los telegramas emitidos por una baliza o por radio, necesitan ser configurados adecuadamente dentro del conjunto de la secuencia.

La realización de ensayos - segunda fase - es solicitada por la industria y llevada a cabo por laboratorios independientes como el CEDEX, Multitel y el DLR. En la actualidad, esto implica la realización de 93 Secuencias de Ensayo que incluyen más de 1600 pasos y pueden tardar hasta 80 minutos cada secuencia. Este proceso consume mucho tiempo y esfuerzo y por lo tanto, se convierte en un gran candidato para ser automatizado. Durante la realización de los ensayos, todos los estímulos enviados al objeto testado y sus respuestas se registran, en función de la complejidad y la duración de la secuencia de ensayo (que puede durar más de una hora), los datos registrados pueden alcanzar hasta un gigabyte de memoria (Registrador del Laboratorio, Unidad de Registro Jurídico del equipo embarcado (JRU), flujo de vídeo en la pantalla del interfaz Conductor / Máquina).

consistent test reference and to ensure to full coverage of all the requirements. Fig. 2 shows parts of the ETCS system requirement specification documents.

Fig. 3 gives a rough overview of the single steps of the generic test process used by the DLR for operational and technical tests.

The overall test methodology has three phases. Test creation is succeeded by the actual test execution and the test analysis and report generation.

The first step is to extract functional features from the system requirements specification. This is done by building functional blocks based on one or more requirements. For every feature experts define one or more test cases in the second step. Both, positive and negative tests are used, depending on the feature and its tested functionality. These test cases consist out of several single steps and cover one single interface each (e.g. driver machine interface (DMI), odometry, balise data, GSM-R, ..). The test cases and their steps are in a generic format, meaning that they describe the general activities during the test, but need to be parameterized with context-specific information (see Fig. 4). The concrete parameters will be added in the third step during the test implementation. Each test sequence is a concatenation of hundreds of single test cases and their steps. Since many test cases can be used in different ETCS modes or levels, the content of several steps, like balise or radio data, need to be configured properly to the context of the whole sequence.

The actual test execution - phase two - is commissioned by the industry and performed by the independent laboratories at CEDEX, Multitel and DLR. Currently this implies the execution of 93 test sequences that include over 1600 test steps and may take up to 80 minutes. This process is very time and effort consuming and therefore and excellent target for automation. During the test execution, all stimuli sent to the test object and its reactions are being recorded - depending on the complexity and duration of a recorded sequence (which can take over an hour) - this means up to a gigabyte of recorded data (laboratory log, Juridical Recording Unit (JRU) log, DMI video stream).

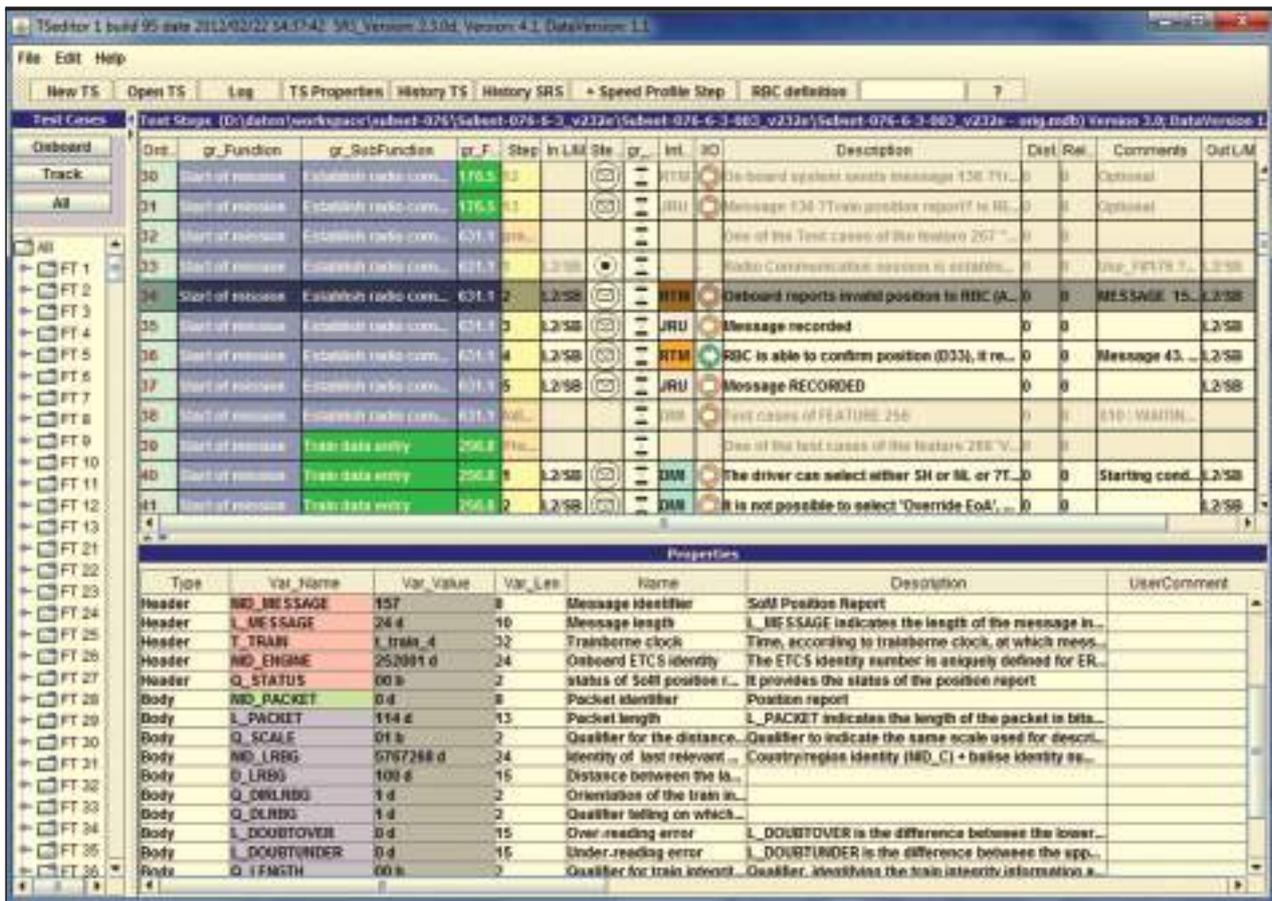


FIGURA 4. Pasos del Ensayo en un viaje en tren con baliza y mensajes de radio [5]/Test steps of a train trip with balise content and radio messages [5].

En la fase de generación de informes, los archivos y la información obtenidos son analizados por expertos en diferentes ámbitos. Después de la evaluación del ensayo se crea un informe para el cliente de forma automática.

2.2. PLATAFORMA Y HERRAMIENTA INDEPENDIENTE PARA TRATAMIENTO DE LOS DATOS DEL ENSAYO

Las especificaciones publicadas por la ERA emplean archivos de Microsoft Word y bases de datos de Access. Estos formatos son de pago y usan aplicaciones específicas y por lo tanto, podrían complicar el tratamiento posterior de los archivos en el proceso de automatización. Debido al hecho de que varios de los documentos se reutilizan a lo largo del ensayo, es muy importante disponer de un formato independiente universal y una herramienta para la informatización de los datos.

Para ello, se eligió un formato basado en lenguaje XML, que por un lado sigue siendo legible por los técnicos y por otro lado, se puede programar usando el propio código XML, como se muestra en la Fig. 5.

Para lograr un grado razonable de homogeneidad, se definieron rutinas en lenguaje XML para las diferentes interfaces del Laboratorio, así como para los casos de prueba y pasos de cada ensayo.

Dentro del proceso de ensayo, la secuencia de ensayo es exportada desde el archivo original, en formato de Microsoft Access, a la nueva base de datos universal en formato XML. El archivo resultante se utilizará, en primer lugar, para la realización del ensayo y después en la evaluación del ensayo. De

In the test report creation phase takes the evaluation files are taken into account any analyzed by domain experts. After the test result evaluation a report for the customer is automatically created.

2.2. PLATFORM AND TOOL INDEPENDENT TEST DATA FORMAT

The specifications published by the ERA feature Microsoft Word documents and Access databases. These formats are proprietary as well as platform specific and therefore complicate further processing for automation purposes. Due to the fact that several created documents are being reused in further steps within the test process, it was very important to implement a universal and tool independent data format.

For this we choose a XML-based format, which is at the one hand still human readable and on the other hand can be formalized using XML-scheme definitions as shown in Fig. 5.

To achieve a reasonable degree of formalization, we defined XML-schemes for the different laboratory interfaces as well as for the test cases and test steps.

Within the test process, the test sequence is being exported from the original, platform and tool specific Microsoft Access database to the new universal XML test data format. The resulting file will first be used in the test execution and afterwards in the test evaluation. This way, in-

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<TestSequence>
  <General>
  <StartingConditions>
  <Steps>
    <Step ID="1000001" order_in_test_sequence="1">
      <Step ID="1000002" order_in_test_sequence="1" status="original">
        <StepGroup>
          <ActionEvent ID="1000002" event_direction="none" interface_channel_name="none">
            <Descriptions>
              <description>The power of the on-board is switched on. The on-board equipment changes to 50 mode.</description>
              <event />
              <user_comment />
            </Descriptions>
            <StartingConditions>
            <Data>
              <Trigger>
                <Distance>
                  <name>Distance</name>
                  <bit_length>32</bit_length>
                  <value>0</value>
                  <coding>0</coding>
                  <comment />
                </Distance>
              </Trigger>
              <function_name />
              <parameterList />
            </Data>
            <EndConditions>
            </ActionEvent>
          </Step>
        <Step ID="1000003" order_in_test_sequence="2" status="original">
          <StepGroup>
            <ActionEvent ID="1000003" event_direction="out" interface_channel_name="JBU">
              <Descriptions>
                <description>The new current mode 50 is RECORDED on JBU</description>
                <event />
                <user_comment />
              </Descriptions>
            <StartingConditions>
            </Data>

```

FIGURA 5. Rutina en XML de una secuencia de ensayo [6]/ XML-scheme of a test sequence [6].

esta manera, la redundancia de información disminuye y, lo que es más importante, la compatibilidad queda garantizada.

2.3. REALIZACIÓN AUTOMÁTICA DEL ENSAYO - EL ROBOT DE UN SOLO DEDO

La realización de los ensayos requiere un gran esfuerzo, ya que consta de unas 100 secuencias diferentes con 500 pasos de media, que pueden requerir una hora cada una para su realización. Una campaña de ensayos implica la integración y la

formation redundancy is reduced and even more important, consistency is ensured.

2.3. AUTOMATED TEST EXECUTION - THE ONE FINGERED ROBOT

The test execution needs huge effort; there are around 100 test sequences with 500 steps in average with 1 hour runtime each. One test campaign consists of the integration and preparation of the OBU followed by the first test run

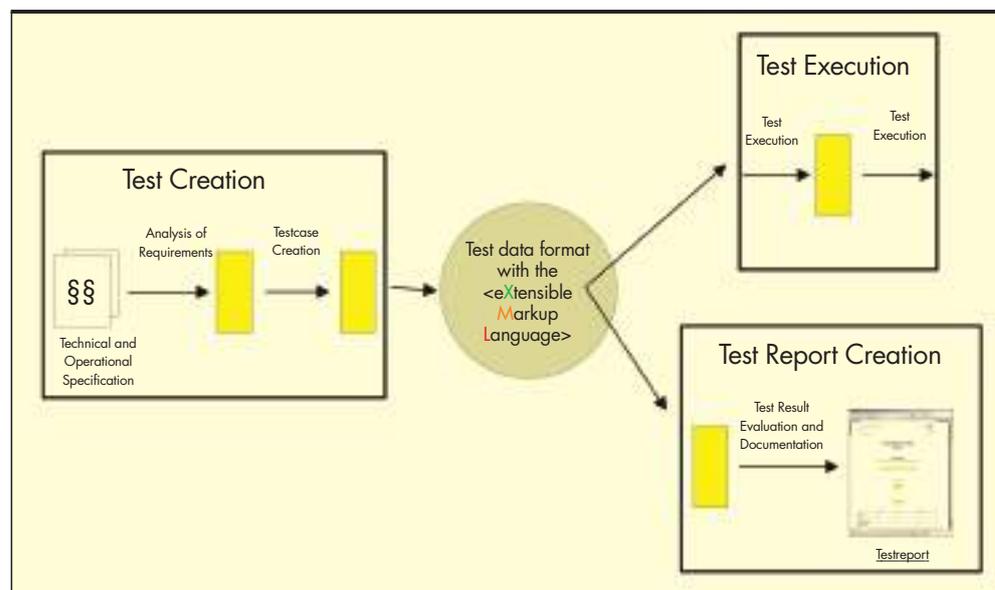


FIGURA 6. Formato de los datos de ensayo independiente de la plataforma de ensayo para su uso en la realización y evaluación automática de los ensayos/Platform independent test data format as base for automated test execution and evaluation.

preparación del OBU y la realización del propio ensayo. Todo este proceso, hasta la obtención del informe final, puede llevar más de tres meses. Para reducir este esfuerzo el DLR ha automatizado el proceso.

El primer paso para reducir tiempo y esfuerzo consiste en la automatización de los procedimientos para la preparación del ensayo. Todas las secuencias de ensayo deben ser adaptadas para el equipo que corresponda. Especialmente el “temporización de la radio”, que describe el tiempo que el OBU necesita para responder a los RBC, es diferente para cada fabricante.

Además, el procedimiento para restablecer el estado del OBU y el tiempo necesario para arrancar el sistema es también diferente. Para cada secuencia de ensayo es necesario reiniciar el OBU para garantizar unas mismas condiciones de partida apropiadas.

Después de la configuración, el laboratorio realiza lo que se conoce como presecuencia, con el objeto de establecer las condiciones específicas de partida de la secuencia de ensayos, por ejemplo, los niveles y modos iniciales de ETCS son establecidos en la presecuencia. Tras estos pasos previos, la secuencia de ensayos reales ya puede ser realizada. Todas estas labores de preparación pueden realizarse manualmente o mediante secuencias de comandos. El DLR utiliza un procedimiento basado en secuencias de comandos para controlar los OBU de los diferentes fabricantes y desencadenar una configuración automática. Después de un reinicio, la presecuencia se carga automáticamente y se inicia la secuencia de ensayos. Esta automatización, por sí sola, permite una reducción considerable de procedimientos manuales que debían repetirse antes del inicio de cada secuencia de ensayos.

Durante la ejecución de una secuencia de ensayos un operario tiene que interactuar con el DMI. El DLR ha automatizado esta interacción mediante un “robot de un solo dedo” que se muestra en la Fig 7. Toda la información necesaria para la ejecución de los ensayos se muestra en una pantalla (monitor en frente del operario), por lo que se puede supervisar la ejecución de los ensayos desde otros emplazamientos. En la parte derecha de la imagen se muestra el robot delante de la DMI.

and the entire test execution towards the final report and can take more than three months of time. To reduce this effort DLR has established test automation.

The first step in the direction of time and effort reduction is the automation of the procedures for the test preparation. All test sequences need to be adapted for the respective test equipment, depending on its manufacturer. Especially the radio timing, describing the time the OBU needs to respond to the RBC, is different for every manufacturer.

Furthermore the procedure for resetting the status of the OBU and the time needed to boot-up the system differs. Resetting the OBU is necessary to ensure clean starting conditions for every test run.

After the reset the lab executes a so called presequence in order to establish the specific starting conditions of a test sequence, e.g., the starting ETCS level and mode are transmitted via the presequence. After this initial run the actual test sequence can be performed. All this conditioning work can be done manually or by using scripts. The DLR uses a bash-script based procedure to control the OBUs of different manufacturers and to trigger an automatic reset. After the reset the presequence is automatically loaded and started, followed by the run of the test sequence. This already reduces the amount of manual execution repeated for every test sequence significantly.

During the run of a test sequence the tester needs to interact on the DMI. DLR has automated this driver interaction using a “one-fingered robot” illustrated in Fig 7. All information necessary for the test run, is shown on one screen (monitor in front of the tester), so it is also possible to supervise the test run from other places. The right part of the picture shows the robot in front of the DMI.

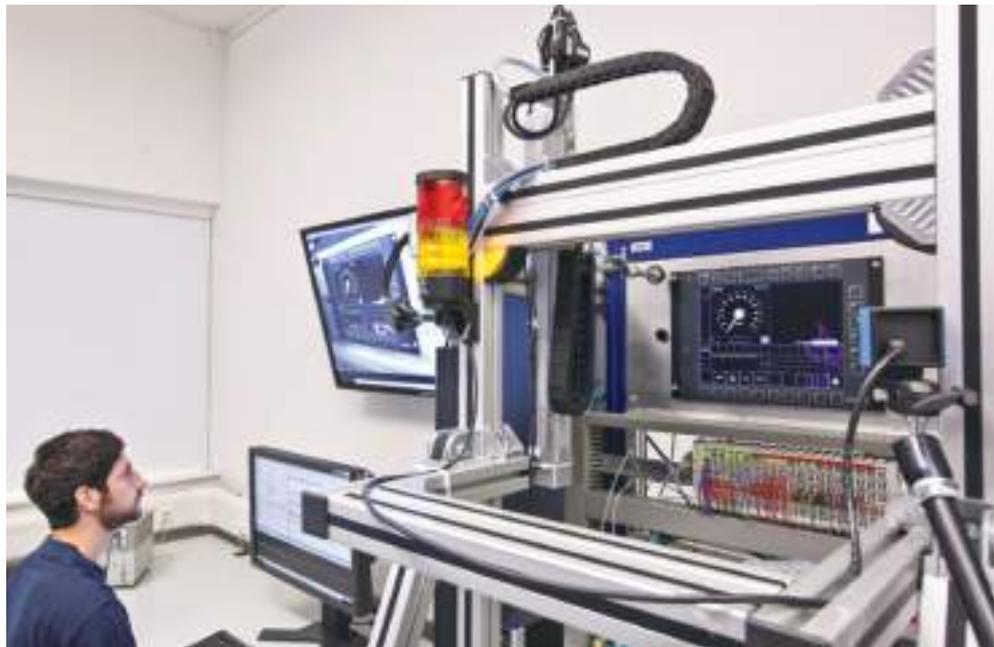


FIGURA 7. Robot para la automatización de pruebas del DLR/Robot for Test Automation of the DLR.

El robot consta de dos accionadores lineales y un cilindro neumático para la “estado de presionar”. Los accionadores lineales son controlados por un PC que lee la descripción de la secuencia XML de ensayos. Los procesos manuales del ensayo y las actuaciones de los operarios no están normalizadas por lo que se requiere una codificación especial de estas tareas para que los procesos que se deban desarrollar con el robot sean únicos. Un archivo de configuración que incluye la normalización de los procesos manuales y la secuencia XML del ensayo permite automatizar las acciones del robot. La duración de cada proceso del ensayo debe ser prolongada para tener en cuenta la temporización de la radio de cada OBU ya que tienen diferente duración. Aunque durante el período inactivo no hay movimiento del tren, si se realizan muy a menudo otro tipo de acciones. Por esa razón, no se puede controlar el estado en el que encuentra el proceso, únicamente la posición en la que se encuentra el tren. Cada paso realizado por el robot se registra de inmediato en la base de datos RailSiTe®. Así, cada acción del robot puede ser evaluada de forma automática. Además, todas las acciones del robot son 100% reproducibles, mientras que en las acciones manuales siempre existen pequeñas desviaciones de carácter temporal o incluso de orden (el operario podría cambiar el orden de las acciones conduciendo a errores en el ensayo).

Para mayor seguridad, una cámara registra en video el la salida gráfica del DMI que es transmitida a un programa de reconocimiento de imagen que permite controlar el resultado del DMI y evaluar la información recibida. Asimismo, el programa de reconocimiento de imagen es capaz de retroalimentar al robot. De este modo, el comportamiento del robot puede adaptarse a defectos detectados en el DMI. La combinación de la actuación automática y el reconocimiento automático del resultado introduce velocidad y calidad al proceso de ensayo.

2.4. EVALUACIÓN AUTOMÁTICA DE ENSAYOS

Después de la ejecución del ensayo, todos los resultados se registran, para cada secuencia, en una base de datos en formato de tabla. Estos resultados deben ser evaluados para garantizar el funcionamiento adecuado de los equipos y del propio laboratorio, comprobando que todas las actuaciones se han realizado y transferido correctamente.

A este efecto, el DLR ha desarrollado una herramienta que puede conectarse a la base de datos y leer directamente el archivo XML que describe el ensayo y su secuencia. Ambas entradas se sincronizan en puntos característicos de la secuencia de ensayo, por ejemplo, utilizando la localización de un grupo de balizas. Adicionalmente, este software puede leer muchos formatos de información de los diferentes fabricantes de las JRU. De esta manera, los datos de la JRU también se pueden evaluar, lo que significa una garantía adicional para la verificación de la correcta ejecución del ensayo así como de la transmisión correcta de todos los mensajes durante la secuencia.

Una vez realizado el ensayo, todos los datos registrados de la campaña de ensayos (Registros de la JRU, secuencia de vídeo, registros de la comunicación vía radio) se agrupan y son tratados a través de una compleja aplicación informática. La aplicación configura automáticamente la herramienta de evaluación y activa el proceso de evaluación para mostrar un primer resultado rápido, justo después del ensayo. Esto le da al operador una rápida visión global confirmando si todo es correcto o si necesita repetir el ensayo.

La herramienta de evaluación compara los resultados obtenidos con los datos de referencia que se recogen en el Sub-

The robot consists of two linear actuators and a pneumatic cylinder for the “press-state”. The linear actuators are controlled by a pc which reads the XML-based test sequence description. Because the test steps for the manual input and driver’s actions are not formalized, a special formalization file maps all test steps to unique robot actions. A comfortable configuration file allows the adaption of display characteristics and different button positions. The configuration file, describing the display, and the formalization file together with the XML based test sequence description allow the robot to automate the drivers input. Every driver event has to be extended with a delay time, based on the radio timings of each OBU as they have a different timing behavior. Notably during stands-till there is no movement of the train but very often many actions take place. Thus it is impossible to monitor only the position of the train to trigger the robot actions, therefore an additional timing is used. Every input done by the robot is logged immediately to the common RailSiTe® log database. Thus every robot action can be evaluated automatically. Furthermore all robot actions are 100% reproducible, while entering the inputs manually always include slight deviations concerning time and even order (of course, changing the press order of the buttons leads to errors during the evaluation).

Additionally, a camera is capturing the DMI output to forward this video stream to an image-recognition-software. The image-recognition-software is needed to formalize the DMI output and allow an automated evaluation of the displayed information. Also the image-recognition-software is able to send feedbacks to the robot. Hence the robot action can be triggered by real events appearing on the DMI. The combination of automated input and automated output recognition adds speed and quality to the complete test process.

2.4. AUTOMATED TEST EVALUATION

After the test execution all test results are logged in one database table per sequence. These results need to be evaluated to ensure the correct behaviour of the test hardware and the lab as well, i.e. that all the events have been triggered and transferred correctly. DLR developed a specific tool for this task which can connect to the logging database and read the xml test sequence description. Both inputs were synchronised by characteristic places in the test sequence, e.g. using a balise group location. Additionally this software can read many of the manufacturers’ proprietary JRU data formats. Thus the JRU data can be evaluated as well and is a perfect feedback for the correct test run and correct transmission of all messages in the sequence.

After the test run all logged data (JRU logs read from the OBU, sequence logs, video files and a complete log of the radio communication) of a current test campaign is collected from all simulation-computers and prepared by a complex scripting system. The scripting system configures the evaluation tool automatically and triggers the evaluation process to show a first quick result immediately after the test run. This gives the tester a fast overview if everything looks correct or if he needs to redo the test.

The evaluation tool compares the reference (Subset-076) using the XML format with the results of the test run and prints the result of the comparison into a configurable format. Microsoft Excel is used as output format, to allow ac-

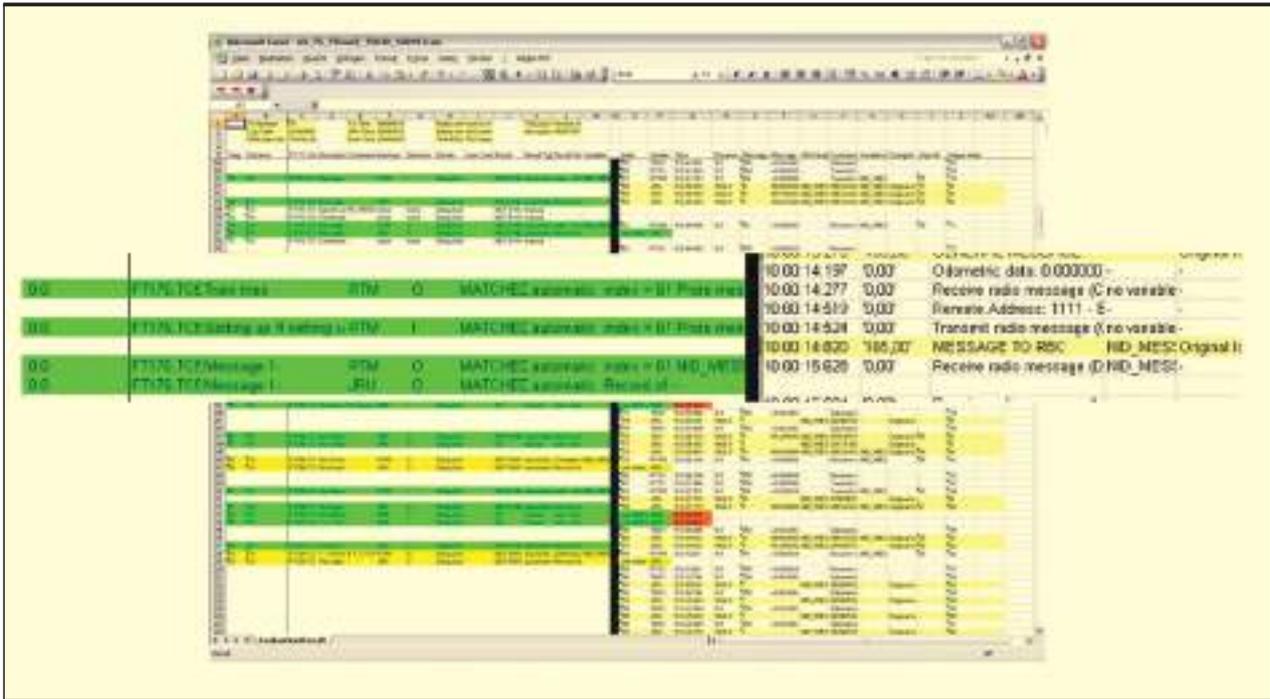


FIGURA 8. Captura de pantalla del resultado del ensayo usando la herramienta de evaluación del DLR/Screenshot of test result using DLR evaluation tool.

set-076 e imprime el resultado de la comparación en un formato editable. La aplicación Microsoft Excel se utiliza como formato de salida para permitir el acceso a las funciones de filtrado del Excel u otras similares. La herramienta de evaluación compara a nivel de bit los mensajes ETCS recibidos con los especificados en el Subset-076.

Todas las desviaciones entre los datos de referencia y los datos medidos se marcan automáticamente con líneas rojas. Todas las mediciones correctas se muestran en verde y los resultados con desviaciones menores se muestran en amarillo. En la Fig 8. se muestra un ejemplo del archivo Excel.

Todas las filas amarillas tienen que ser revisadas por el operador o evaluador. El resultado final (rojo o verde) se puede añadir a un archivo adicional para mantener la trazabilidad de la información tanto como sea posible. El archivo generado para el análisis manual (filas destacadas en amarillo) es asociado a un ensayo específico incorporando un Check-Sum (Suma de los bytes del archivo) con objeto de evitar que se mezclen los resultados de ensayos diferentes.

2.5. PRUEBA DE ANÁLISIS - LA GENERACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

Después de la evaluación del ensayo, que incluye una revisión manual de los pasos que no han sido evaluados de forma automática, hay 93 archivos de resultados, con aproximadamente 500 pasos cada uno. Estos archivos contienen información detallada y específica, por lo que no permiten dar una rápida visión general del ensayo completo. Un resumen Manual de los resultados requeriría una cantidad enorme de esfuerzo. Para evitar este esfuerzo, el DLR ha desarrollado una herramienta que analiza todos los resultados de forma automática. Se utiliza una plantilla que contiene información básica sobre el sistema sometido a ensayo y se genera un informe estructurado. Todos los resultados se fil-

cess to the excel filter functions or similar. The evaluation tool compares all received ETCS messages on bit level.

All deviations between the target and measured data are marked as red lines automatically. All passed steps are shown in green and results with minor deviations are shown in yellow lines. See Fig 8 for an example of the excel file.

All yellow lines have to be reviewed by the tester respectively the Evaluator. The final result (red or green) can be added to an additional file, to keep as much transparency as possible. The file for the manual results (the reviewed yellow line) is mapped to one unique test run by integrating a checksum to avoid mixing results of different test runs.

2.5. TEST ANALYSIS - GENERATION OF THE TEST REPORT

After the test evaluation, including a manual review of steps that have not been evaluated automatically, there are 93 result files with approximately 500 steps each. Those files are very detailed and specific, thus they cannot give a quick overview of the entire test run. Manual summarizing of the result files would need a huge amount of effort. To avoid this effort DLR developed a tool which parses all result files automatically. It uses a template, containing some basic information about the system under test, and generates a well arranged test report. All result files were filtered for each test case and all deviating steps are summarized in tables. By simply clicking on the deviation the result file itself will open and show all constraints, which lead to the deviation. Due to this feature it is very easy for developers to find the reason of a deviation. Furthermore there are general statistics generated by the tool to visualize the general results and the status of the OBU concerning Subset-076 conformity in an executive summary.

Test Report	
	RailSiTe
Content	
Rail Simulation and Testing.....	1
Preliminary Test Report.....	1
1 Disclaimer and Extensions.....	3
2 Executive Summary.....	3
3 Test Target.....	4
3.1 Unit under Test.....	4
3.2 Test Scope.....	4
3.3 Test Coverage.....	4
4 Test Laboratory Configuration.....	5
5 Test Results.....	5
5.1 Summary.....	5
5.2 Statistic 1.....	7
5.3 Statistic 2.....	8
5.4 Statistic 3.....	9
5.5 Covered and uncovered Features.....	10
5.6 Deviations by feature.....	19
6 Relevant Documents.....	31

FIGURA 9. Contenido del Informe de Ensayo/
Content of the Test Report.

tran con anterioridad para cada paso realizado en el ensayo y todas las desviaciones se resumen en tablas. Con sólo puntear en la desviación, el archivo correspondiente se abre y muestra todas las limitaciones que llevan a la desviación. Debido a esta funcionalidad de la aplicación es muy fácil para los diseñadores del equipo sometido a prueba encontrar el motivo de la desviación. Además, se generan análisis estadísticos para visualizar los resultados generales y el estado del OBU en relación con el Subset-076 de referencia en un resumen ejecutivo.

La Fig 9 muestra la estructura general del documento. El “Executive Summary” muestra el resultado de todo el ensayo, la sección “Test Target” describe el sistema ensayado y la sección “Test Laboratory Configuration”, describe la configuración completa de la RailSiTe durante la ejecución del ensayo. Los detalles del ensayo se muestran en la Sección 5, “Test Results”. Algunas gráficas, como las que se muestran en la Fig. 10, muestran la interpretación gráfica de los resultados de los ensayos incluyendo las características y parámetros ensayados y los que no. Otra gráfica muestra que secuencias han sido ensayadas. Además todas las desviaciones se clasifican y se detallan en la última parte de la sección. Esta sección incluye la función de enlace que se ha descrito anteriormente. Para evitar cambios en los resultados después de la generación del informe, para todos los archivos se crea un archivo de control y chequeo que además se enumera en la sección 6 del informe del ensayo como medida de protección de los resultados finales. Este control es uno de los principales requisitos para la acreditación a la norma ISO 17025.

La aplicación usual del informe del ensayo es que sirva al Organismo Notificado en el proceso de certificación de un OBU. Pero también es útil para informar a los diseñadores sobre la situación actual de los equipos en lo relativo a la conformidad para su uso.

Fig 9 shows the general structure of the document. The “Executive Summary” shows the result of the entire test, the “Test Target” section describes the system under test and the “Test Laboratory Configuration” describes the complete configuration of the RailSiTe during the test run. The details of the test are shown in section 5, “Test Results”. Some statistics e.g., Fig10, show the graphical interpretation of the test results including which features have been tested, and which have not been tested. Another statistic illustrates which sequences have been tested. Further all deviations are categorized to features and are listed in the last part of the section. This section includes the hyperlink feature described above.

To avoid changing results after the generation of the report, for all files an md5-checksum is created and listed in section 6 of the test report as protection of the results is one of the main requirements for the accreditation towards ISO 17025.

The common application of the test report is as a base for the Notified Body for the certification process of an On-board Unit. But it is used as a quick feedback for the developers concerning their current status of conformity as well.

3. RESULTS

The test automation used during the whole test process has shown to be very useful in order to achieve the given goals:

- Reduce testing effort by reducing manual input
- Increasing quality by automation
- Achieve ISO 17025 accreditation for the RailSiTe®, i.e. a neutral, transparent, repeatable and independent test of ETCS OBUs

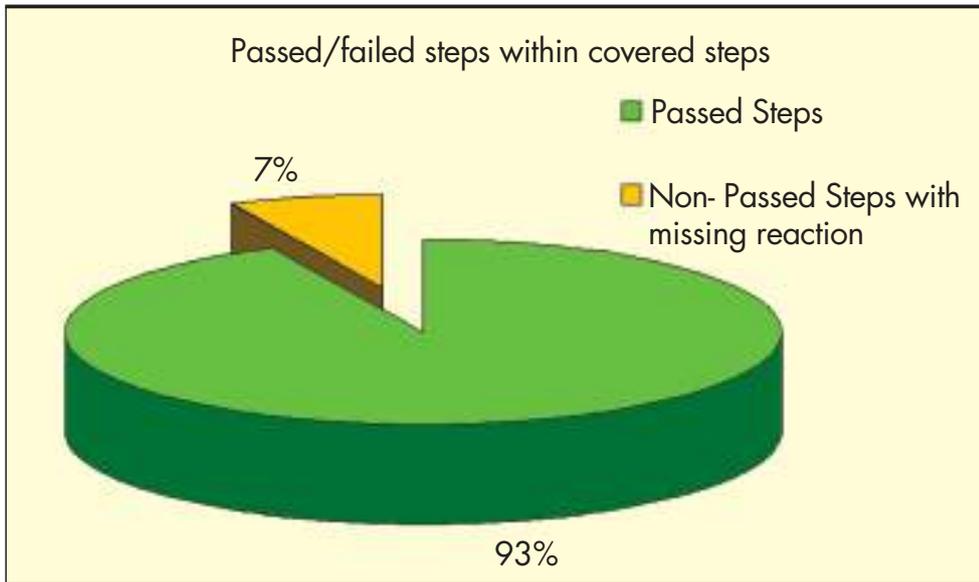


FIGURA 10. Estadística de las partes de ensayo válidas y no válidas/Failed steps during a test run.

3. RESULTADOS

La automatización empleada durante todo el ensayo ha demostrado ser muy útil para alcanzar los objetivos propuestos:

- Reducir el esfuerzo invertido en el ensayo mediante la reducción de la carga manual.
- Aumentar la calidad por la automatización.
- Lograr la acreditación ISO 17025 para la RailSiTe®, a través de un ensayo neutral, transparente, reproducible e independiente para las OBU del ETCS.

Si se tiene en cuenta que la ejecución del ensayo consume mucho tiempo y que el empleo de un robot permite aprovechar las noches y los fines de semana, la automatización logra ahorrar una gran cantidad de esfuerzo manual. Además, la automatización aporta un gran beneficio al reducir el tiempo de ejecución del ensayo completo.

Del mismo modo, como se ha mostrado en el punto 2.4, el programa de evaluación permite reducir enormemente el esfuerzo manual mediante la sistematización de la evaluación de una campaña de ensayos. La herramienta de evaluación es crucial en el proceso de acreditación ISO 17025, ya que es esencial para demostrar la total transparencia de los ensayos y asegurar que se obtienen resultados fiables. La automatización de los ensayos refuerza significativamente el objetivo de la acreditación al aumentar la calidad de los resultados y optimizar el proceso de ensayo. La acreditación de la RailSiTe® de acuerdo a la norma ISO 17025 se ha logrado el 01/11/2012 [7], [8].

3.1. DISCUSIÓN

La calidad del proceso no aumenta linealmente con el grado de automatización, por esa razón, alcanzar el 100% de automatización en los ensayos es una decisión cuestionable. A partir de cierto grado de automatización, la relación coste-beneficio deja de tener tanto interés (ver Fig. 11).

Además, sigue siendo necesaria la intervención manual en la evaluación de las desviaciones de los resultados de los ensa-

As the test execution is very time consuming and with the ability of the robot to execute the test sequences it is possible to run the sequences during the night or during weekends saving a lot of manual effort. This leads to a huge benefit by reducing the execution time of the whole test specification.

Also, as seen in chapter 2.4 the evaluation software offers a huge possibility in reducing the manual effort by formalizing the behavior in the evaluation of a test campaign. The evaluation tool was also crucial in the ISO 17025 accreditation process as it was essential to demonstrate complete transparency of the testing-method in order to get reliable results. The test automation supported the whole accreditation significantly by increasing the quality of the results and optimizing the in-house test process. The accreditation of the RailSiTe® towards the ISO 17025 has been achieved on the 11.01.2012 [7] , [8].

3.1. DISCUSSION

As the quality does not increase linear with the grade of automation the purpose of reaching 100% test automation is questionable. At some point the cost-value ratio is not efficient anymore (see Fig. 11)

Also there is still a need of some manual effort in the evaluation of deviations of test results as no machine can replace the experience of the experts as some result need a deeper knowledge of the ETCS-system. The expert can identify and classify the issue and he needs to evaluate if it is a sequence, test specification or another error. This task can not be automated reasonably.

Nevertheless it is our goal to completely execute all 100 test sequences automatically with the robot and to increase the formalization in the evaluation tool. Also the image recognition will be adapted so that the evaluation of the DMI-Steps can be computed automatically for every event. The test execution by night is currently under evaluation and to be investigated completely.

yos, tarea que ninguna máquina puede realizar en sustitución de la experiencia de los expertos, ya que el análisis de algunos resultados requiere un conocimiento muy profundo del sistema ETCS. El experto puede identificar y clasificar el problema, y evaluar si el origen del mismo se encuentra en la secuencia, en la especificación del ensayo o se trata de cualquier otro error. Esta tarea no se puede automatizar razonablemente.

Sin embargo, el objetivo es alcanzar la automatización de las 100 secuencias de ensayo con el robot y aumentar la sistematización en la herramienta de evaluación. También el reconocimiento de la imagen se adaptará para que la evaluación de los pasos en el DMI se pueda computar de forma automática para cada situación. La ejecución del ensayo por la noche se encuentra actualmente en evaluación.

4. AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría expresar nuestra gratitud a los miembros del Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) del CEDEX y, especialmente, al Dr. Jaime Tamarit, con quien hemos compartido muchos conocimientos y experiencias en relación a las especificaciones del ensayo y con quien estamos trabajando en varios proyectos, como por ejemplo, el proyecto ERA Subset-076 Update. Esperamos mantener la buena relación entre el CEDEX y el DLR, máxime, cuando están por llegar numerosos retos y trabajos en este campo, en especial, en todo lo relacionado con ensayos operacionales en laboratorio.

5. REFERENCIAS

- [1] UNISIG. ERTMS / ETCS - clase 1: Especificación de ensayo, de Subset-076: La versión 2.3.1, 2008.
- [2] Walter Andrian. Zweiter ETCS-Softwarefehler gefährdete Vollbetrieb des Lötchberg Basistunnels. Schweizer Revue Eisenbahn-, página 22 f., 01,2008.
- [3] UNISIG. ERTMS / ETCS - Clase 1: Functional Requirements for an on board Reference Test Facility: Subset-094: Version 2.0.2, 05.02.2009.
- [4] UNISIG. ERTMS / ETCS - Baseline 3: System Requirements Specification: Subset-026: 23.12.2008.
- [5] Lars Ebrech y Karsten Lemmer. Meta-Modell zur tabellarischen Verhaltensbeschreibung von Echtzeitsystemen. *Echtzeit 2011 - Herausforderungen durch Echtzeitbetrieb*, 03 -. 04.11.2011.
- [6] Lars Ebrech y Karsten Lemmer. Destacar los elementos esenciales del comportamiento de los sistemas reactivos en las descripciones de prueba utilizando el elemento atómico del comportamiento. En los patrones de 2010 - Segunda Conferencia Internacional sobre los patrones generalizados y Aplicaciones, 21 - 26.11.2010.
- [7] DAkKS. Certificado de acreditación de la RailSiTe® de laboratorio hacia la ISO 17025. <http://as.dakks.eu/ast/d/D-PL-11223-01-00.pdf>, 11.01.2012.
- [8] DLR. Único en Alemania: el laboratorio DLR de trenes de prueba. http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-2775/, 24.02.2012.

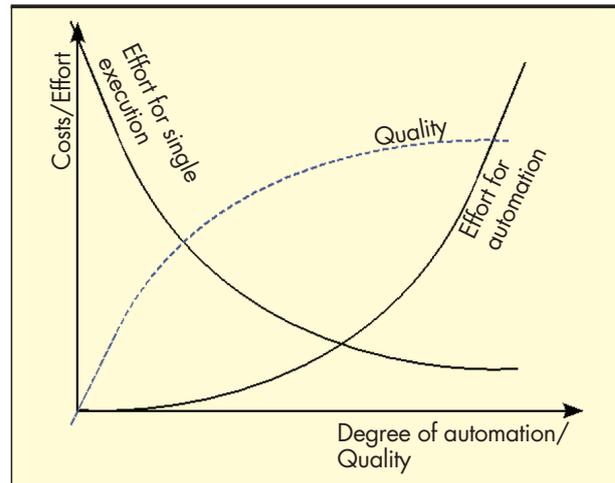


FIGURA 11. Relación del grado de automatización con los costes/
Degree of automation in relation to costs.

4. ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to express our gratitude to the members of the Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) CEDEX and especially to Dr. Jaime Tamarit with whom we have shared a lot of knowledge and experiences regarding the test specification and with who we are currently working in various projects like the ERA Subset-076 Update. We hope to keep the good relationship between CEDEX and DLR as the future still has plenty of work and challenges to offer, especially regarding the test of operational scenarios in the laboratories.

5. REFERENCES

- [1] UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1: Test Specification, Subset-076: Version 2.3.1, 2008.
- [2] Andrian Walter. Zweiter ETCS-Softwarefehler gefährdete Vollbetrieb des Lötchberg-Basistunnels. *Schweizer Eisenbahn-Revue*, page 22 f., 01,2008.
- [3] UNISIG. ERTMS/ETCS - Class 1: Functional Requirements for an on board Reference Test Facility: Subset-094: Version 2.0.2, 05.02.2009.
- [4] UNISIG. ERTMS/ETCS - Baseline 3: System Requirements Specification: Subset-026: 23.12.2008.
- [5] Lars Ebrech and Karsten Lemmer. Meta-Modell zur tabellarischen Verhaltensbeschreibung von Echtzeitsystemen. *Echtzeit 2011 - Herausforderungen durch Echtzeitbetrieb*, 03 - 04.11.2011.
- [6] Lars Ebrech and Karsten Lemmer. Highlighting the essentials of the behaviour of reactive systems in test descriptions using the behavioural atomic element. In *Patterns 2010 - Second International Conferences on Pervasive Patterns and Applications*, 21 - 26.11.2010.
- [7] DAkKS. Certificate of accreditation of the RailSiTe® laboratory towards iso 17025. <http://as.dakks.eu/ast/d/D-PL-11223-01-00.pdf>, 11.01.2012.
- [8] DLR. Unique in Germany: the DLR railway test laboratory. http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-2775/, 24.02.2012.