

# Metric to Visual Aspects of the Human in Teleoperation of a Mobile Robot

F. Penizzotto, E. Slawiński and V. Mut

**Abstract**— The purpose of this paper is to define and develop a metric to estimate the selective visual attention (SVA) of an operator that teleoperates a mobile robot. Perception is the first stage of Situation Awareness which is defined as one of the main aspects of Human Factors, and the attention is a resource which strongly affects the Perception of humans. Many researchers have proposed a variety of methods for measuring any stage of the Situation Awareness, but just a few can be used in control close loop systems due to the nature of the methods. A definition of a novel metric is proposed, which quantifies the operator visual knowledge about the surrounding risk, based on visual selective attention and being able to be used in a control closed loop. A teleoperation of a mobile robot navigating in an unknown environment without colliding is suggested as an application for the method. Finally, results of the implementation of the measurement method are presented. Applications of this research include the teleoperation of robots, where the human operator commands have a strong influence in the controller of the main task and when there exist limitations on the visual feedback.

**Keywords**— Human-robot interaction, Perception, Selection of Attention, Robot teleoperation, Metric.

## I. INTRODUCCIÓN

UNO de los principales problemas en los sistemas Humano-Robot (HR) es la brecha entre el diseño de estos sistemas y la investigación teórica en psicología cognitiva y experimental del humano. Muchos de los sistemas HR no funcionan bien en la práctica porque imponen requisitos sobre el operador humano que son incompatibles con la forma de percibir, pensar, recordar, decidir y actuar, es decir, con la forma en que las personas realizan o procesan información.

Los Factores Humanos (FH) se ocupan de las características psicológicas, sociales, físicas, biológicas y de seguridad de un usuario. La consideración de los factores humanos en el diseño y operación de un sistema HR puede mejorar el desempeño global de todo el sistema. [2] destaca que el potencial de FH está poco explotado.

Uno de los principales conceptos analizados en el área de los FH es el *conocimiento de la situación (SA)*, definida como la *percepción de los elementos del entorno dentro de un tiempo y espacio*, la *comprensión de su significado*, y la *proyección de su situación en un futuro próximo* [4]. También se presentó un modelo de conocimiento de la situación en la toma dinámica de decisiones, donde distintos factores humanos están interrelacionados entre sí (Fig. 1).

La percepción es la etapa más utilizada para el desarrollo de estimadores en línea del conocimiento de la situación [13]. Como la etapa de la percepción es la primera que se produce, sin percepción no se llevarán a cabo ni la comprensión, ni la proyección. Además, se ha demostrado empíricamente que la etapa de percepción influye en más del 75 % de los errores de pilotos de vehículo aéreos [7].

Además, [18] indica que la atención, como un conjunto de recursos mentales, influye en la percepción, ya que las limitaciones de la atención humana representan una de las mayores problemáticas en el procesamiento humano de la información. Como se afirma en [4], las limitaciones de la atención pueden ser compensadas en algún grado mediante la incorporación de la automatización. Muchas de las características de la atención visual en lo que respecta a la percepción, puede ser descritas por la *metáfora de la linterna* descrita en [17], donde dos propiedades son relevantes: su amplitud y dirección. La dirección se refiere a la cuestión de *cuando, qué y donde* iluminar al entorno. [3] indica que la atención selectiva puede ocurrir sin un cambio en la dirección de la mirada, pero la mayor parte del tiempo el movimiento de nuestra mirada es impulsada por nuestra necesidad de atender. Por lo tanto, es posible inferir sobre la atención visual basándose en el estudio del comportamiento de la inspección visual [5]; [10].

Es importante destacar que la parte de la atención que influye en la percepción, suele ser medida por métodos subjetivos, basados en cuestionarios y/o en mediciones implícitas basadas en desempeño. Sin embargo, es difícil su utilización en-línea. En efecto, solo los métodos del tipo *Índices de procesos* o de *Tiempo real* [14] pueden ser utilizados como señales de realimentación en control, como por ejemplo, el Eye tracker (seguidor de mirada). En general, los métodos en línea basados en seguimiento de la mirada se basan en contar el número de veces que los usuarios buscan un lugar específico del entorno, así como también, el momento y frecuencia de monitoreo de dicho lugar.

El objetivo principal de este trabajo es proponer la definición y método de una medida cuantitativa de la atención visual en la operación de sistemas HR, teniendo en cuenta dos procesos cognitivos involucrados. El método no requiere detenciones parciales de la tarea (congelamiento), ni cuestionarios, es no intrusivo y de salida continua. La métrica puede ser utilizada como señal de realimentación en un sistema de control de HR, actuando sobre la interfaz hombre-máquina, y/o sobre el comportamiento del controlador. A modo de ejemplo, la medida propuesta se aplica en la interfaz

F. Penizzotto, Instituto de Automática (INAUT), Universidad Nacional de San Juan, San Juan - Argentina, penizzotto@inaut.unsj.edu.ar

E. Slawiński, Instituto de Automática (INAUT), Universidad Nacional de San Juan, San Juan - Argentina, slawinski@inaut.unsj.edu.ar

V. Mut, Instituto de Automática (INAUT), Universidad Nacional de San Juan, San Juan - Argentina, vmutg@inaut.unsj.edu.ar

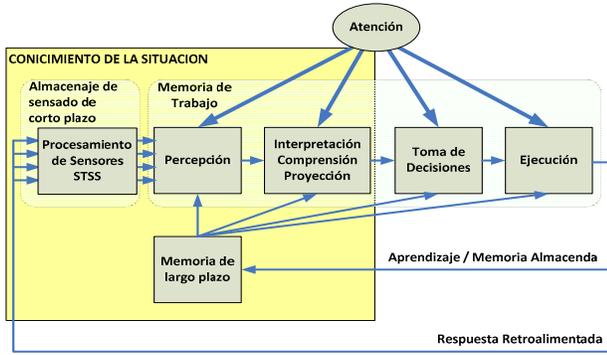


Figura 1. Conocimiento de la situación en entornos dinámicos [4].

al usuario de un sistema de teleoperación de un robot móvil en entornos dinámicos [9].

El trabajo se organiza con el siguiente orden: Primero, se presenta el sistema y el problema a resolver. Luego, se expresan definiciones y conceptos del método propuesto como aporte principal. Posteriormente, se explica la implementación desarrollada y el ejemplo propuesto. Finalmente, se exponen conclusiones.

## II. PROPUESTA DE MÉTRICA

### A. Modelo del sistema HR utilizado

Un sistema HR se caracteriza por un operador humano que interactúa con el entorno de trabajo mediante un robot. En general, se ejecutan múltiples tareas. Algunos de ellas son gestionadas por los sistemas de automatización del robot y otros por el usuario. Aquí, el término *Entorno* consiste en el lugar donde se encuentra el robot, los obstáculos fijos y móviles, otros robots operados por otras personas o por sistemas autónomos. En estos sistemas, el operador envía comandos al robot para controlarlo. A partir de la interacción del robot y su entorno, surgen restricciones físicas de desplazamientos representadas en este trabajo por la probabilidad de colisión ( $P_i$ ) entre el robot y cada obstáculo, siendo  $i$  el subíndice de identificación de cada obstáculo. Cada  $P_i$  se normaliza en el rango de  $[0 - 1]$ . El usuario debe llevar a cabo una determinada tarea, mantenimiento las señales  $P_i$  lo más bajas posible, sin llegar al estado de choque  $P_i = 1$ .

La Fig. 2 muestra la situación general planteada en este trabajo, donde un usuario desea conducir el robot desde A hasta B, sin chocar con ningún obstáculo (tarea primaria) y en el menor tiempo posible. Además, el campo de vista del humano es limitado (triángulo de la figura) debido a la realimentación visual mediante una cámara a bordo del robot. El operador decide dónde dirigir su atención y aunque la señal  $P_i$  está presente, la persona puede observar y percibir el riesgo de manera distinta. Se asume que  $P_i(t)$  varía continuamente al igual que la cantidad de obstáculos presentes en el entorno, la cual es desconocida antes de realizar la tarea. El operador también puede realizar tareas secundarias a pesar de no haber sido tenidas en cuenta en el diseño del sistema de control, lo cual genera sobrecarga de atención a la persona, la cual debe decidir permanentemente el nivel de prioridad de cada tarea.

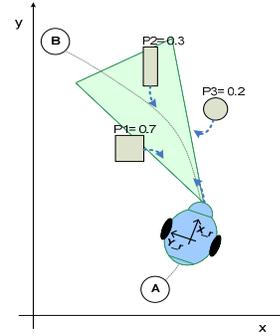


Figura 2. Planteo de la situación.

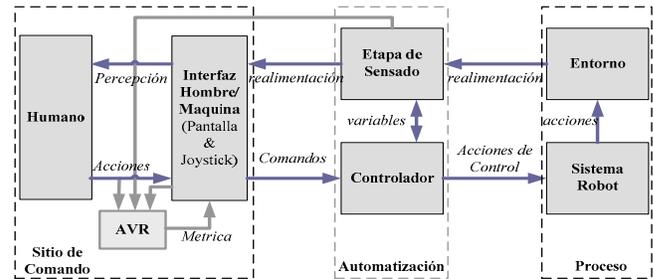


Figura 3. Esquema del sistema HR utilizado.

El sistema hombre-robot considerado se muestra en la Fig. 3. El operador humano genera comandos de velocidad que envía al controlador de movimiento de un robot móvil, el cual mediante una cámara a bordo realimenta información visual hacia el operador a través de una interfaz de usuario, la cual podría utilizar una métrica de factores humanos necesariamente computada en línea.

### B. Definición y método propuesto para la métrica

En este trabajo, se propone definir una métrica llamada *Atención Visual ante Riesgo (AVR)*, como:

*El grado de atención visual que tiene un operador humano, frente a situaciones peligrosas en el entorno de trabajo del robot que conduce*

1) Método propuesto para la métrica definida:

- Atención Visual Ideal ( $P_{id}$ ):

Atención visual dirigida a todos los obstáculos dentro del entorno, en el instante actual, donde cada uno es individualizado por su probabilidad de colisión:

$$P_{id} = (P_1, P_2, \dots, P_q)$$

- Atención Visual Real ( $P_{re}$ ):

Atención visual actual, parcialmente dirigida al riesgo generado por la interacción con los obstáculos del entorno:  $P_{re} = (P_1 A_1, P_2 A_2, \dots, P_q A_q)$ ; donde  $A_i$  representa el grado de *atención visual sobre un riesgo*  $P_i$ , normalizado en el rango  $[0 - 1]$ .

- Grado de Atención visual ante Riesgo:

*Distancia* entre la *Atención Visual Ideal* y la *Atención Visual Real*. Se establece una medida cuantitativa acerca de cuan buena es la atención visual del operador, frente al riesgo periférico.

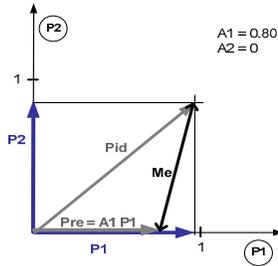


Figura 4. Componentes cuantitativos de la AVR.

$$Me = || P_{id} - P_{re} ||$$

$$Me = \sqrt{(P_1 - P_1 A_1)^2 + \dots + (P_q - P_q A_q)^2} \quad (1)$$

Un valor de  $Me = 0$  implica la mejor AVR y  $Me = \sqrt{q}$  contiene el peor valor para  $q$  obstáculos presentes en el instante  $t$ .

En la Fig. 4, se muestra una representación gráfica de la métrica propuesta considerando 2 obstáculos presentes que generan  $P_1$  y  $P_2$ . El operador fija su vista solamente en el obstáculo 1, pero no logra estimar el peligro completamente, por lo que en este ejemplo  $A_1 = 0.80$ . Este método permite la comparación directa entre diferentes grados de AVR en distintos instantes de tiempo  $t_i$  con diferente cantidad  $q$  de obstáculos. El límite superior se incrementa de manera no lineal mediante el aumento de  $q$ .

### C. Cómputo de $A_1$

Este trabajo considera el modelado de dos procesos cognitivos que afectan a la información visual recibida, con el fin de obtener una mejor medida de la atención visual en tareas como la propuesta. En primer lugar, sólo una pequeña región del campo visual percibe detalles. Esta región se llama *fovea* y es alrededor de 2 grados del ángulo de vista. Fuera de esa región, los detalles visuales comienzan a degradarse, todo esto dependiendo de la densidad de información contenida en la región. En segundo lugar, se considera un sistema de procesamiento sensorial (STSS, Short Term Sensory Store), el cual retiene durante un intervalo de tiempo  $T_{STSS}$  las señales percibidas luego de que estas ya no estén presentes en la entrada física del canal visual. El contenido de las señales puede recuperarse durante  $T_{STSS}$  con la misma fidelidad que cuando están realmente presentes. El tiempo de la STSS depende de cada persona, por lo tanto, hemos considerado el tiempo medio [18].

Este trabajo utiliza tres etapas para obtener el valor final de  $A_i$ . La Fig. [5] representa el campo de visión del operador (triángulo), respecto al marco de referencia a bordo del robot. El usuario inspecciona visualmente el entorno de operación, pero su procesamiento visual es limitado.  $\varphi_{visual}$  es el ángulo del punto de fijación visual del humano respecto al marco de referencia.  $\varphi_{objeto}$  representa el ángulo de la posición del obstáculo respecto al marco de referencia. Estos dos ángulos

deben ser conocidos, o pueden ser estimados en línea.  $\varphi_{fovea}$  es el ángulo del objeto respecto al centro del campo de vista del humano (punto de fijación visual).

Teniendo en cuenta el alcance del canal de visión humana  $d_{visual}$  y  $\varphi_{fovea}$ , se puede determinar si el obstáculo está fuera o dentro del campo visual del operador.  $A_i$  tiene el valor 1 cuando el obstáculo está dentro y 0 cuando está fuera. A partir de la figura, se puede observar que  $\varphi_{fovea} = \varphi_{objeto} - \varphi_{visual}$ . En la Fig. 6,  $A_{fovea}$  es función de  $\varphi_{fovea}$ , sólo para los obstáculos que se encuentran dentro del campo de visión. La zona central es región de la fovea. Una función Gausseana pesa la visualización de los obstáculos cuando están cerca del punto de fijación, y se describe por la Ec. [2]. El ángulo  $\varphi_{wide}$  depende de la distribución espacial y la complejidad de la información. La región fovea está limitada a  $20^\circ$  para esta aplicación, que se determinó empíricamente por prueba y error. Por lo tanto,  $\varphi_{wide}=40$ .

$$A_{fovea} = e^{-\frac{\varphi_{fovea}^2}{2\varphi_{wide}^2}} \quad (2)$$

También en la Fig. 6 se describe la etapa STSS. Durante un tiempo  $T_{STSS}$  (intervalo de tiempo considerado para la STSS visual) después de la finalización del estímulo visual, la información puede ser recuperada por la cognición humana. En particular, para el canal de visión humana (VSTM: Visual Short Term Memory, Memoria visual de corto plazo), deben considerarse 0,50 segundos o más, dependiendo de la información involucrada [8].

Finalmente, la Fig. 7 muestra las etapas de la ejecución del modelado del canal visual. En primer lugar, para cada obstáculo,  $A_{in}$  considera la posición relativa entre los obstáculos y la mirada del usuario sobre la pantalla de operación. Posteriormente,  $A_{fovea}$  se calcula como se ha descrito anteriormente. La etapa STSS toma la señal  $A_{in}A_{fovea}$  como entrada y discrimina entre pendientes ascendentes o descendentes. Cuando se produce el ascenso de la pendiente, la señal de salida  $A_i$  copia el valor de la señal de entrada. Esto significa que el objeto se está moviendo hacia el centro del campo de visión (punto de fijación). Por el contrario, cuando la pendiente cae (objeto alejándose del punto de fijación), la salida  $A_i$  añade un retardo de transporte  $T_{STSS}$  en la señal de entrada. Esta acción se realiza hasta que se detecta un nuevo incremento de la pendiente.

### D. Diferentes escenarios para la AVR

La Fig. 8 muestra varias situaciones que arrojan valores diferentes de AVR. En el caso 1, la métrica alcanza el mejor valor posible ( $Me = 0$ ), ya que el humano tiene una buena atención visual respecto a los dos obstáculos ( $A_1 = A_2 = 1$ ). Cuando el operador atiende sólo al obstáculo 1, la métrica resulta en 0.20 (caso 2). La tercer situación es comparable con el caso 2 ya que los niveles de riesgo son iguales, pero difiere en la limitación de la atención visual sobre el obstáculo 1 ( $A_1 = 0.5$ ), resultando  $Me = 0.44$ . En (4), el riesgo provocado por el obstáculo 2 es atendido por el usuario, en tanto el peligro causado por el obstáculo 1 no puede ser percibido por el operador ( $Me = 0.8$ ). En (5) se tiene la peor condición de AVR ( $Me = 0.82$ ) ya que el usuario no ve ningún obstáculo

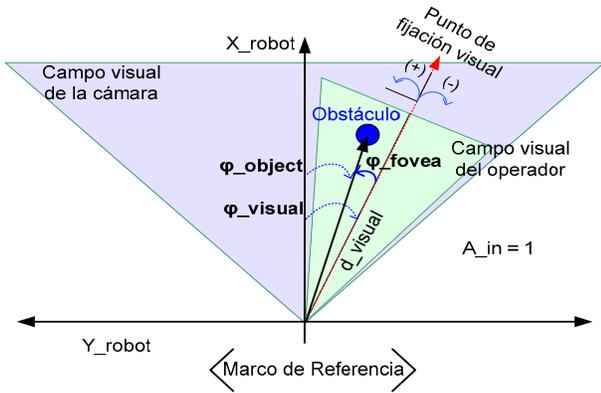


Figura 5. Ejes coordenados del campo visual humano.

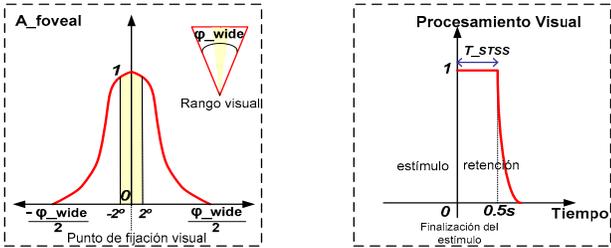


Figura 6.  $A_{fovea}$  y Etapa de procesamiento Visual.

durante un intervalo de tiempo mayor a  $T_{STSS}$ . Finalmente, en (6), siendo  $t(n) - t(n - 2) < 0.5$ , con 0,5 como el intervalo de retención para la STSS visual, la información visual sobre la localización de ambos obstáculos aún está disponible para el proceso cognitivo, por lo tanto,  $A_1 = A_2 = 0.5$  y  $Me = 0$ .

Es importante destacar las diferencias entre el método propuesto y el bien conocido *seguidor de mirada* teniendo en cuenta el caso 6. Si solo se considera la dirección instantánea de la mirada,  $A_1$  y  $A_2$  serían 0 debido a que el operador no está mirando a los obstáculos; pero en el método propuesto la métrica informa de buena AVR dado que  $A_1 = A_2 = 1$  debido a que el operador puede inferir el nivel de riesgo utilizando la información previamente percibida.

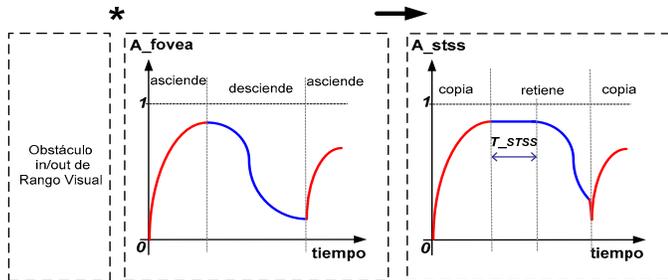


Figura 7. Etapas para computar  $A_i$ .

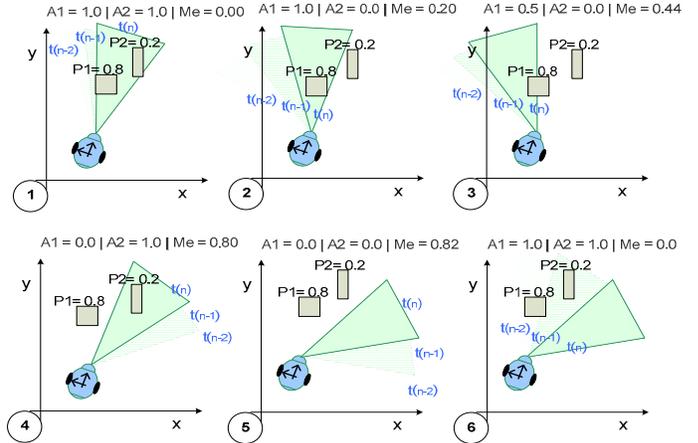


Figura 8. Distintas situaciones para la AVR.

### III. EJEMPLO DE APLICACIÓN

La métrica AVR se computa en línea en un sistema de teleoperación de un robot móvil sin retardo de tiempo. La presencia de retardo de tiempo involucra el uso de un sistema complejo de control [16], [17]. Sin embargo cuando el retardo es nulo o despreciable, generalmente se utiliza un control PID de velocidad para el movimiento de un robot móvil. La entrada de referencia es establecida por el operador humano a través de un joystick mientras simultáneamente recibe la realimentación visual proveniente de la cámara a bordo del robot.

El robot también está equipado con un láser escáner de 180 grados de barrido. La señal de una cámara web situada sobre el monitor central del operador, es procesada por funciones de la librería *Watson* [11], calculando el ángulo de rotación de la cabeza ( $\phi_{head}$ ). En este trabajo, se asume que la mayor parte del tiempo, la mirada del operador está en concordancia con la rotación de su cabeza ( $\phi_{visual} \approx \phi_{head}$ ). El ángulo  $\phi_{visual}$  determina el *punto de fijación visual*. Los avances tecnológicos en la estimación de  $\phi_{visual}$  conducirán a una mejora de la métrica, sin afectar el método general propuesto. Por otra parte, un algoritmo basado en láser calcula las velocidades relativas angulares y lineales de cada obstáculo para estimar las  $P_i$  basándose en el *tiempo para contacto* [1]. Una reconstrucción del entorno de operación realizada fuera de línea y para un solo obstáculo puede verse en [12], donde se aprecia el campo de acción del sensor láser y el rango de captura de la cámara a bordo del robot.

#### A. Implementación

La Fig. 9 muestra la pantalla que el operador humano utiliza como interfaz. Consiste en tres monitores colocados en serie horizontal. El robot y dos obstáculos móviles son simulados en un ambiente virtual 3D.

En el centro de la pantalla, sobre la imagen se ubican dos

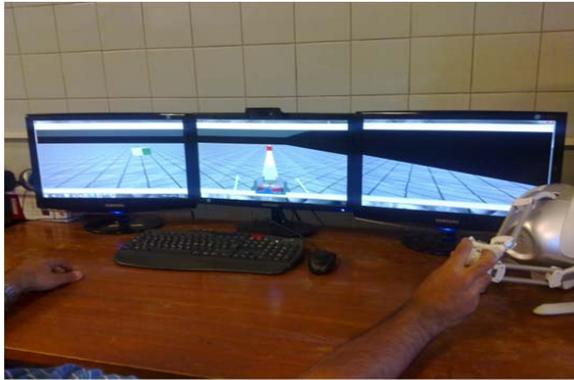


Figura 9. Foto del sitio de comando.

flechas 3D que cambian de tamaño y ángulo. La dimensión se corresponde con la magnitud de la AVR ( $Me$ ). Cuanto mayor sea el valor (peor atención) las flechas aumentan de longitud. El operador puede conocer su desempeño actual respecto a su atención visual. Además, dichas flechas sugieren un ángulo de dirección para dirigir su mirada, con el objetivo de mejorar la atención visual.

#### B. AVR durante la conducción de un robot móvil

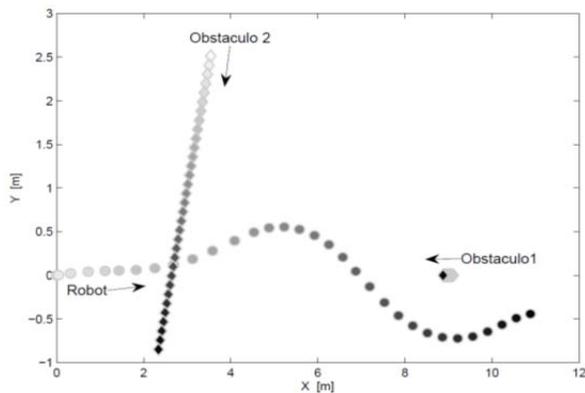


Figura 10. Trayectorias del robot y obstáculos, parametrizadas en el tiempo.

En esta sección, se muestra la evolución de la métrica AVR computada en línea de manera de visualizar su respuesta instantánea. Se asume 1 segundo para  $T_{STSS}$ . En la Fig. 10, se muestran las trayectorias del robot y la de los dos obstáculos presentes en el entorno de operación, donde el desplazamiento de ellos fueron temporalmente parametrizados oscureciendo los puntos a medida que avanza el tiempo del experimento. El obstáculo 1 presenta un breve movimiento y el 2 se mueve en línea recta a una velocidad baja y constante.

La Fig. 11 presenta las probabilidades de colisión reales del robot respecto a cada obstáculo, y la información del canal visual correspondiente a cada uno ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $A_{STSS^1}$  y  $A_{STSS^2}$ ). También se muestra la AVR calculada para cada instante de tiempo.

Se puede observar que cuando existe un obstáculo que genera altos niveles de riesgo (alta probabilidad de colisión),

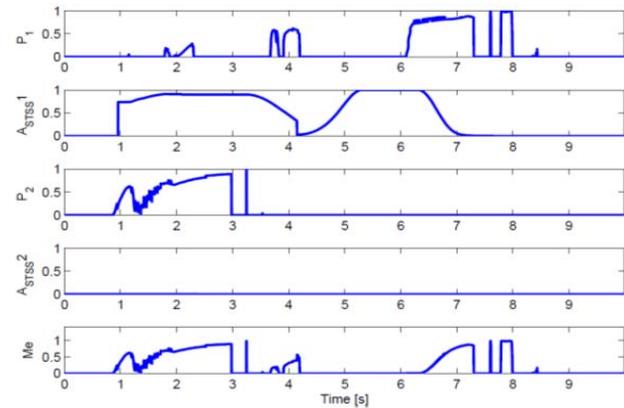


Figura 11. Curvas experimentales.

se produce una situación de vulnerabilidad para la realización de la tarea principal (conducir el robot sin colisionar). En este caso, el indicador propuesto muestra mal desempeño de la AVR del operador, si éste hace caso omiso de tales riesgos (el valor máximo para 2 objetos es:  $Me \rightarrow \sqrt{2}$ , para  $P_1, P_2 \rightarrow 1$ ).

Por el contrario, la métrica es buena (cerca de 0) cuando el humano tiene su atención visual dirigida al obstáculo que genera la situación de alta probabilidad de colisión, o cuando no hay ninguna probabilidad de colisión. Por ejemplo, para  $Time = 0.5s$  o  $Time = 5.5s$  (caso A), los obstáculos causan bajo riesgo de accidente por lo que el indicador tiene un valor chico a pesar de cualquier valuación de  $A_{STSS^1}$  o  $A_{STSS^2}$ . En  $Time = 2.5s$  (caso B), la probabilidad de colisión del obstáculo 2 es alto, y el obstáculo no está siendo visualizado por el humano ni retenido de una vista reciente. Por lo tanto, la atención visual es mala (altos valores de  $Me$ ). Por otro lado, en  $Time = 6.2s$  (caso C),  $P_1$  es alta y el operador está visualizando bien el obstáculo, mientras que el obstáculo 2 no es peligroso. La información respecto del obstáculo es accesible para el operador, por lo tanto, la métrica arroja valores bajos (buena AVR). Luego del tiempo señalado, la información visual se va degradando pero la probabilidad de colisión sigue existiendo, por lo que  $Me$  aumenta.

#### IV. CONCLUSIONES

En este trabajo, se propuso una métrica para cuantificar la atención visual frente al riesgo. El método propuesto permite que la métrica obtenida pueda ser utilizada en línea. Esta característica permite desarrollar sistemas hombre-máquina teniendo en cuenta la atención visual en el diseño del control y/o la interfaz de operación. La estimación de la información visual procesada por el operador complementa la obtenida por sistemas que utilizan seguidores de mirada, dado que el método propuesto incluye aspectos como la región de la fovea y la etapa STSS. La selección sobre el punto de fijación de la mirada del operador puede ser ayudada por marcas colocadas sobre la imagen, con el objeto de redirigir la atención hacia los focos de peligro. Esto mejoraría la selección en la atención visual y por ende, podría aumentar la percepción, dado que la atención visual es una condición necesaria, pero no suficiente

de la percepción humana. Por último, la teleoperación de un robot móvil se consideró como un ejemplo de aplicación, donde la métrica propuesta se calcula y se utiliza en la interfaz gráfica con el fin de asistir y mejorar la atención visual de la persona.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) y el Instituto de Automática de la UNSJ.

### REFERENCIAS

- [1] G. Danilo Chavez, Emanuel Slawinski, and Vicente Mut. Modeling the inattention of a human driving a car. *Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems, IFAC*, 11, 2010.
- [2] Jan Dul, Ralph Bruder, Peter Buckle, Pascale Carayon, Pierre Falzon, William S. Marras, John R. Wilson, and Bas van der Doelen. A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*, 55(4):377–395, April 2012.
- [3] H. E. Egeth and S. Yantis. Visual attention: control, representation, and time course. *Annual Review of Psychology*, 48:269–297, 1997.
- [4] M. R. Endsley. Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37:65–84, 1995.
- [5] D. F. Fisher, R. A. Monty, and J. W. Senders. Eye movements: Cognition and visual perception (EDS.). *Hillsdale, NJ: Erlbaum*, 1981.
- [6] Terrence Fong and Charles Thorpe. Vehicle teleoperation interfaces. *Autonomous Robots*, 11:9–18, 2001.
- [7] D. G. Jones and M. R. Endsley. Sources of situation awareness errors in aviation. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 67:507–512, 1996.
- [8] Steven John Luck and Andrew Richard Hollingworth. *Visual Memory*. Oxford University Press, Inc., 2008.
- [9] Lei Ma and Klaus Schilling. Survey on bilateral teleoperation of mobile robots. *Proceedings of the 13th IASTED International Conference on Robotics and Applications*, 2007.
- [10] N. Moray. Monitoring behavior and supervising control. In K. R. Boff, L. Kaufman, & J.P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance*. New York: Wiley, 1986.
- [11] Louis-Philippe Morency. WATSON: Head Tracking and Gesture Recognition Library. V 2.5, April 2008.
- [12] Franco Penizzotto, Danilo Chavez, Emanuel Slawinski, and Vicente Mut. Real-time feedback measurement of human factors in teleoperation. *XIV Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC)*, 2011.
- [13] Raj M. Ratwani, Malcolm McCurry J., and J. Gregory Trafton. Single operator, multiple robots: An eye movement based theoretic model of operator situation awareness. *Proceeding of the 5th ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction*, 2010.
- [14] Paul Salmon, Neville Stanton, Guy Walker, and Damian Green. Situation awareness measurement: A review of applicability for c4i environments. *Applied Ergonomics*, 38(1): 225–238, 2006.
- [15] E. Slawinski, V. A. Mut, P. Fiorini, and L. R. Salinas. Quantitative absolute transparency for bilateral teleoperation of mobile robots. *EEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, PP:1–13, 2011.
- [16] Emanuel Slawinski, José Francisco Postigo, and Vicente Mut. Experiencias en teleoperación bilateral de robots. *Revista iberoamericana de automática e informática industrial (RIAI)*, 3:29–38, 2006.
- [17] P. L. Watchel. Conceptions of broad and narrow attention. *Psychological Bulletin*, 68:417–419, 1967.
- [18] Christopher D. Wickens and Justin G. Hollands. *Engineering Psychology and Human Performance - 3rd edition*, volume 1. Prentice Hall, New Jersey 07458, 2000.



**Franco V. Penizzotto** was born in San Juan, Argentina on February 16th, 1982. He is graduated from the National University of San Juan (UNSJ), Argentina. He received a Magistral Degree on Control Systems Engineering at the UNSJ in 2009. Currently, he is student of the Ph.D program at Automatic Institute of the National University of San Juan. He has a scholarship supported by the National Council of Scientific and Technical Investigations of Argentina (CONICET). His research interests are on Robotics, Human Factors applied to Automatic and Human-Robot Interaction.



**Emanuel Slawiński** was born in Chubut, Argentina on November 5, 1975. He is graduated from the National University of San Juan (UNSJ), Argentina. He received a Doctoral Degree on Control Systems Engineering at the UNSJ in 2006. Currently, he is Researcher at the National Council of Scientific and Technical Investigations of Argentina (CONICET) and he is professor at the UNSJ in the careers of electronic engineering as well as Ph.D. His areas of interest are: Teleoperation Systems, Human Factors, Human-Robot Interaction and Software Development.



**Vicente A. Mut** is professor at the National University of San Juan and Independent Researcher at the National Council of Scientific and Technical Investigations of Argentina (CONICET), developing research activities and teaching at the graduate and postgraduate programs. He received a Doctor Grade in Engineering of Systems of Control in the National University of San Juan, Argentina in 1995. He has been qualified as Researcher Class I in the categorization for incentives program to the Research-Education of the Argentinean government. His research interests are on Robotics, Manufacturing Systems, Adaptive Control and Artificial Intelligence applied to Automatic Control.